

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Факультет физики

**ТЕПЛООБМЕН МЕЖДУ ТВЁРДЫМ ТЕЛОМ  
И СВЕРХТЕКУЧИМ ГЕЛИЕМ**

Иванов Артём Алексеевич

Руководитель:

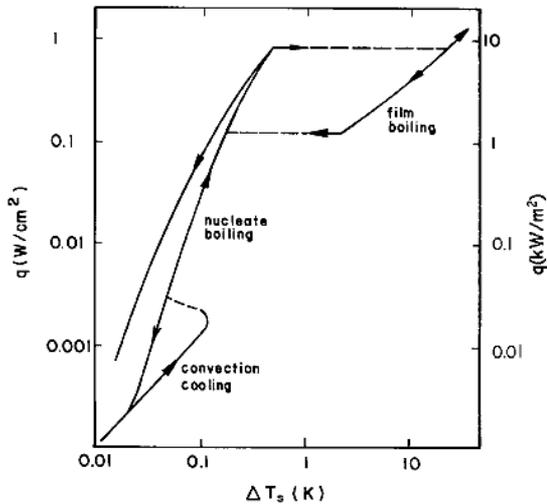
К.ф.-м.н., доцент базовой  
кафедры физики низких  
температур при Институте  
физических проблем РАН  
им. П.Л. Капицы  
В.В. Завьялов

# Цель работы

- Измерение характеристик теплового потока, приводящего к началу режима пузырькового и плёночного кипения у поверхности твёрдого тела в жидком гелии.

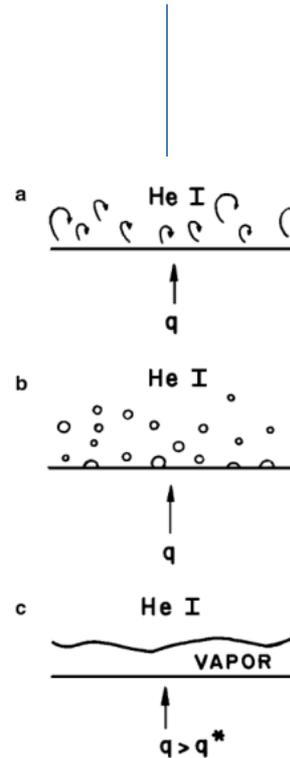
# Режимы теплопереноса

## Нормальный гелий

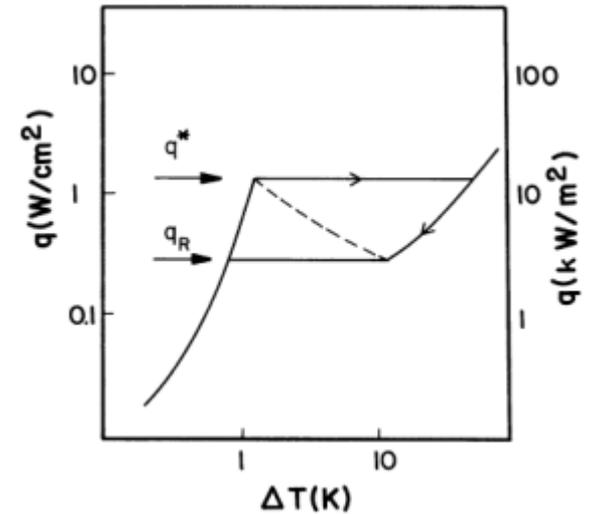


Типичное соотношение переноса тепла для кипящей жидкости

## Сверхтекучий гелий

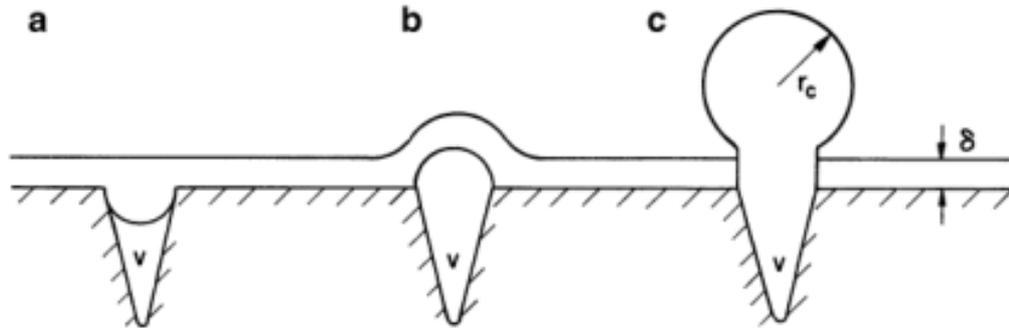


Схематичное изображение режимов передачи тепла: а - конвекция, b – пузырьковое кипение, с - плёночное кипение



Типичная кривая теплопереноса для металлической поверхности в He II

# Пузырьковое кипение



Этапы формирования зародыша на  
поверхностном дефекте (Sciver, 2012)

$$r_c = \frac{2\sigma}{p_s} \left( e^{h_{fg}\Delta T_s / RT_s^2} - 1 \right)^{-1},$$

где  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения,

$p_s$  - местное давление насыщенных паров,

$h_{fg}$  - скрытая теплота испарения жидкости,

$\Delta T_s$  - разница между температурой насыщения и температурой внутри пузырька.

# Плёночное кипение

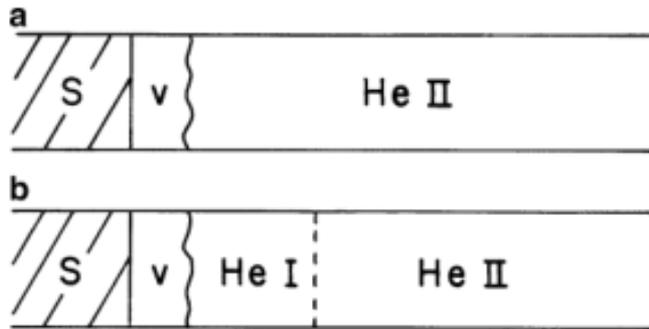


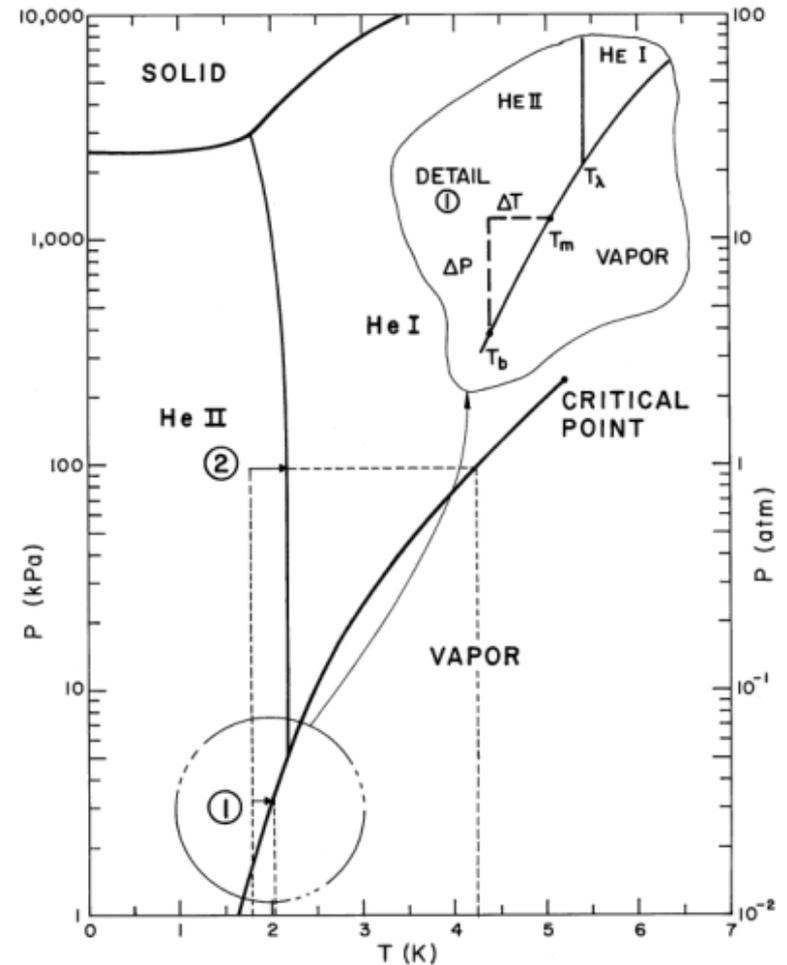
Схема кипения в He II

$$\Delta T_m \cong \frac{RT^2}{h_{fg}} \ln \left( 1 + \frac{\rho g h}{p_0} \right),$$

Так, при наличии теплового потока на дне вертикального столба высотой 0.1 м (Рис. 1.7) с He II, кипящим при 1.638 кПа (давлении, соответствующим давлению насыщенных паров при 1.8 К), максимальная температура сверхтекучего гелия может составить

$$T_m = T + \Delta T_m = 1.8\text{K} + 0.025\text{K} = 1.825\text{K},$$

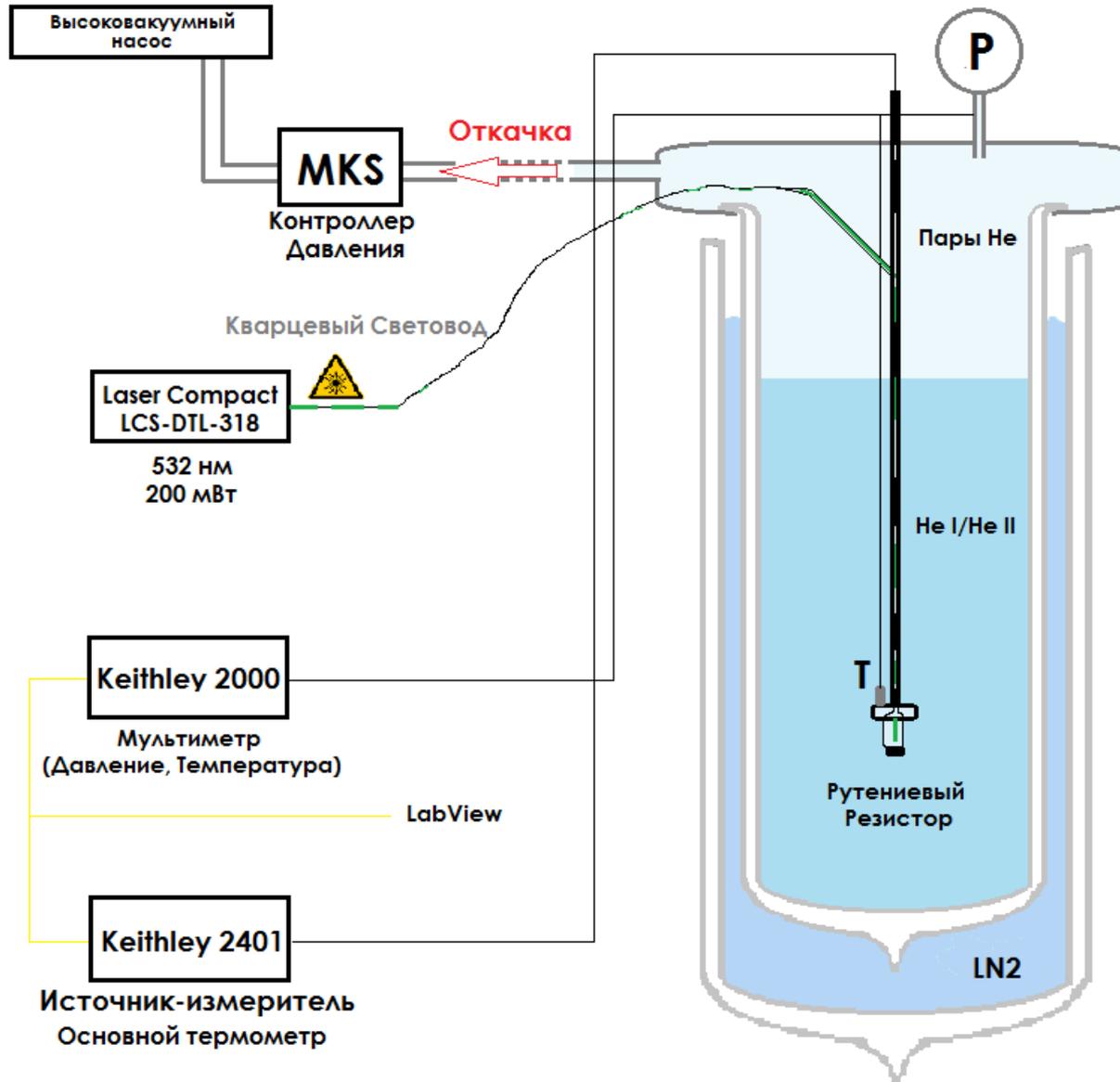
при  $h_{fg} = 23$  кДж/кг,  $\rho = 145$  кг/м<sup>3</sup>



Фазовая диаграмма P(T) гелия

(Sciver, 2012)

# Схема экспериментальной установки



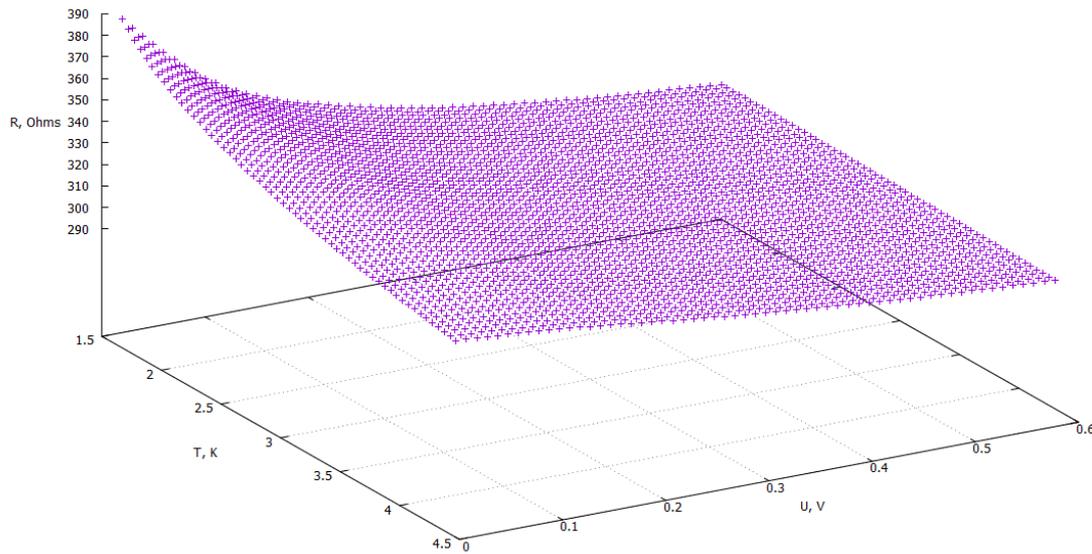
# Ход работы



RuO<sub>2</sub> резистор (SMD)

$R = 275 \text{ Ом}$

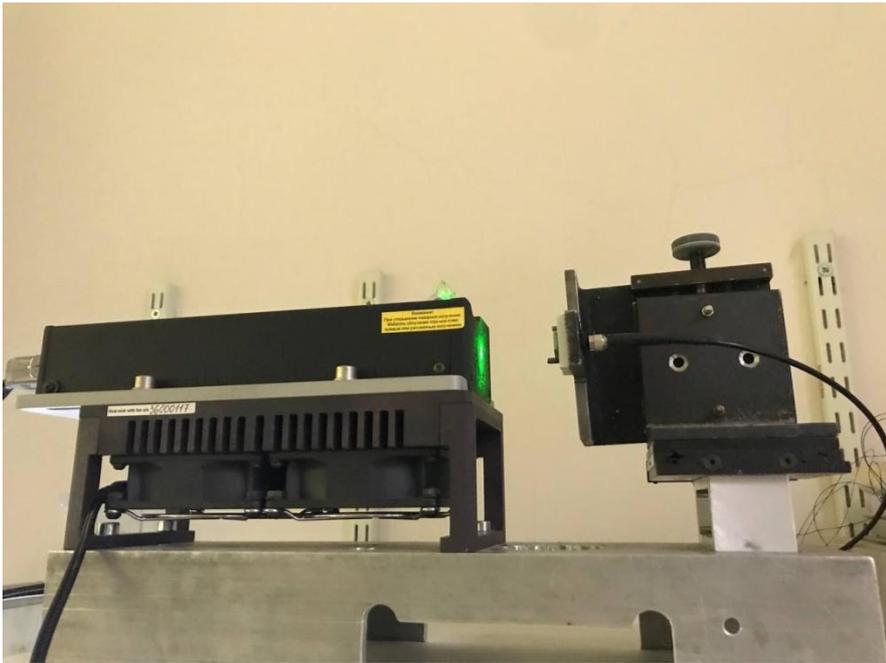
$x, y, z = 1.0 \times 0.5 \times 0.35 \text{ мм}$



Резистор, подвешенный на сверхпроводящих проволочках. Прямо к нему сверху подходит световод

Поверхность  $R(T, U)$ , полученная в результате бикубического сплайна

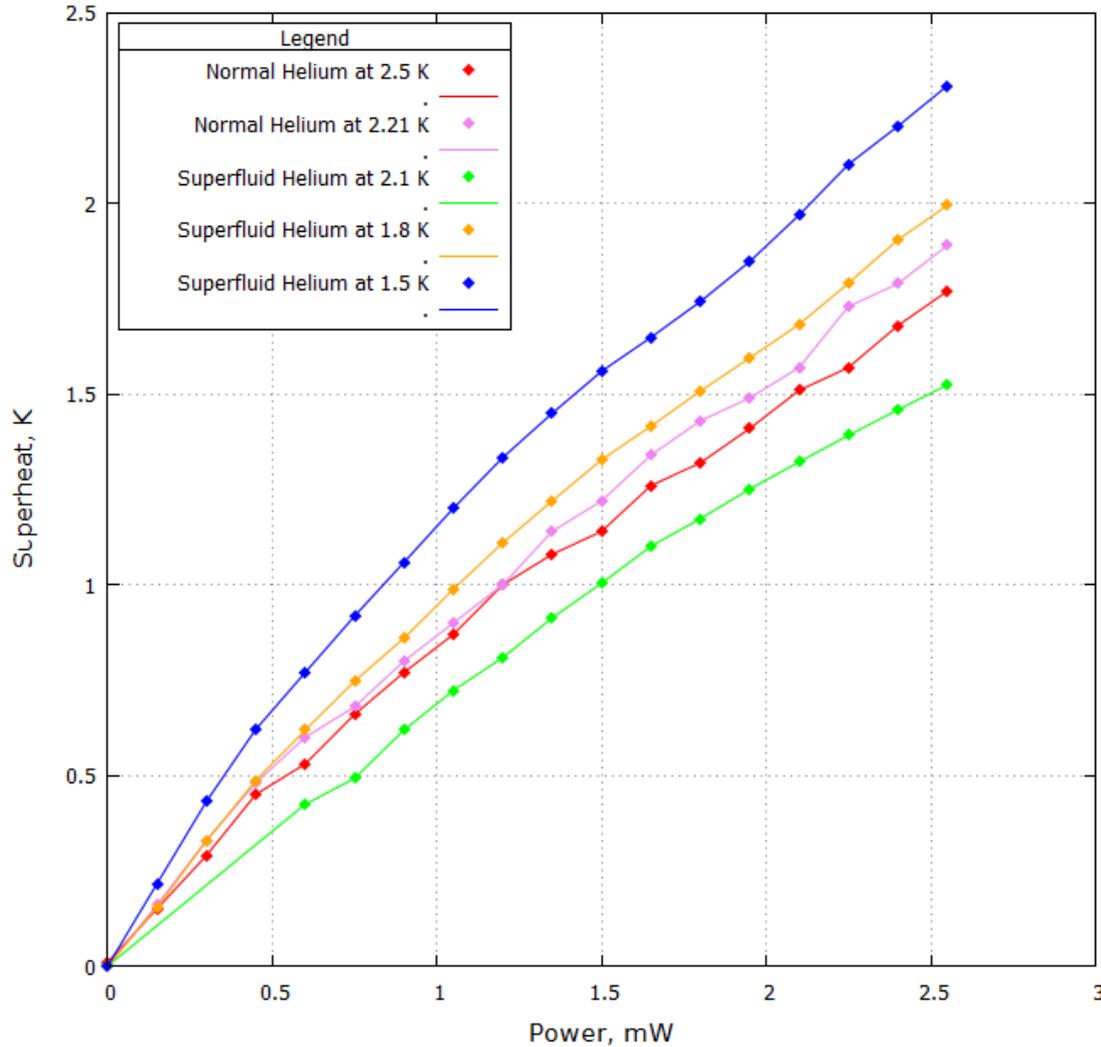
# Ход работы



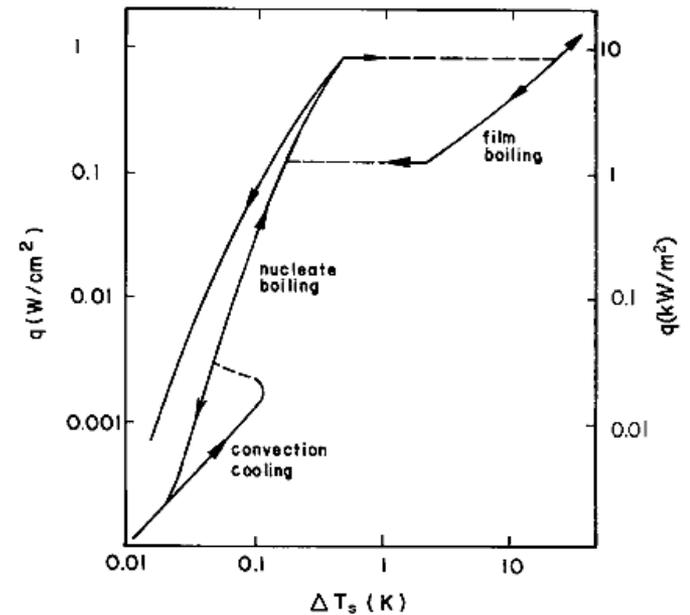
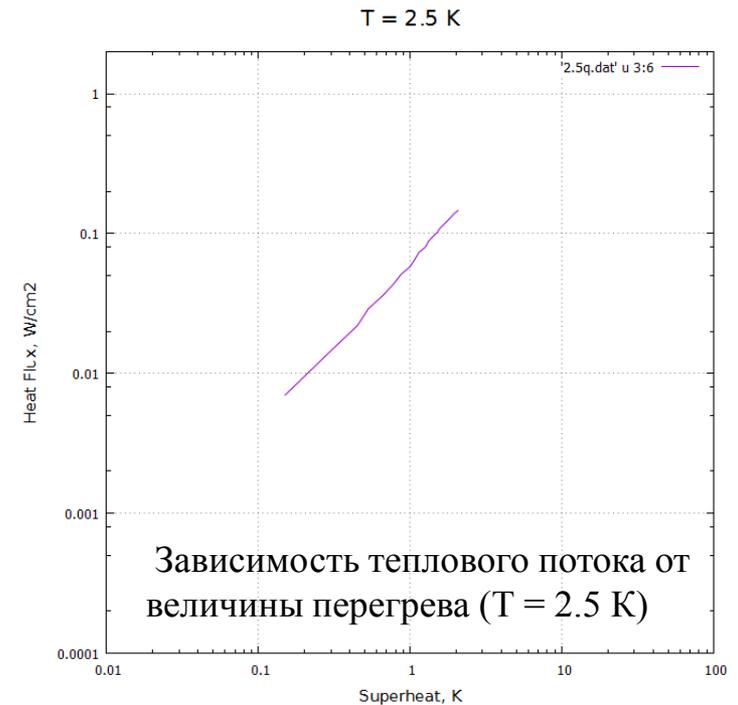
Лазер и линза световода, закрепленные на регулируемом столике

# Измерения

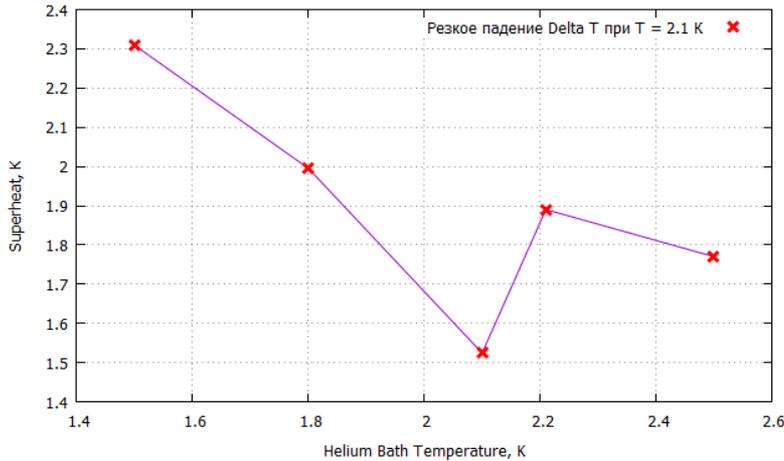
Superheat values for different temperatures of surrounding liquid Helium



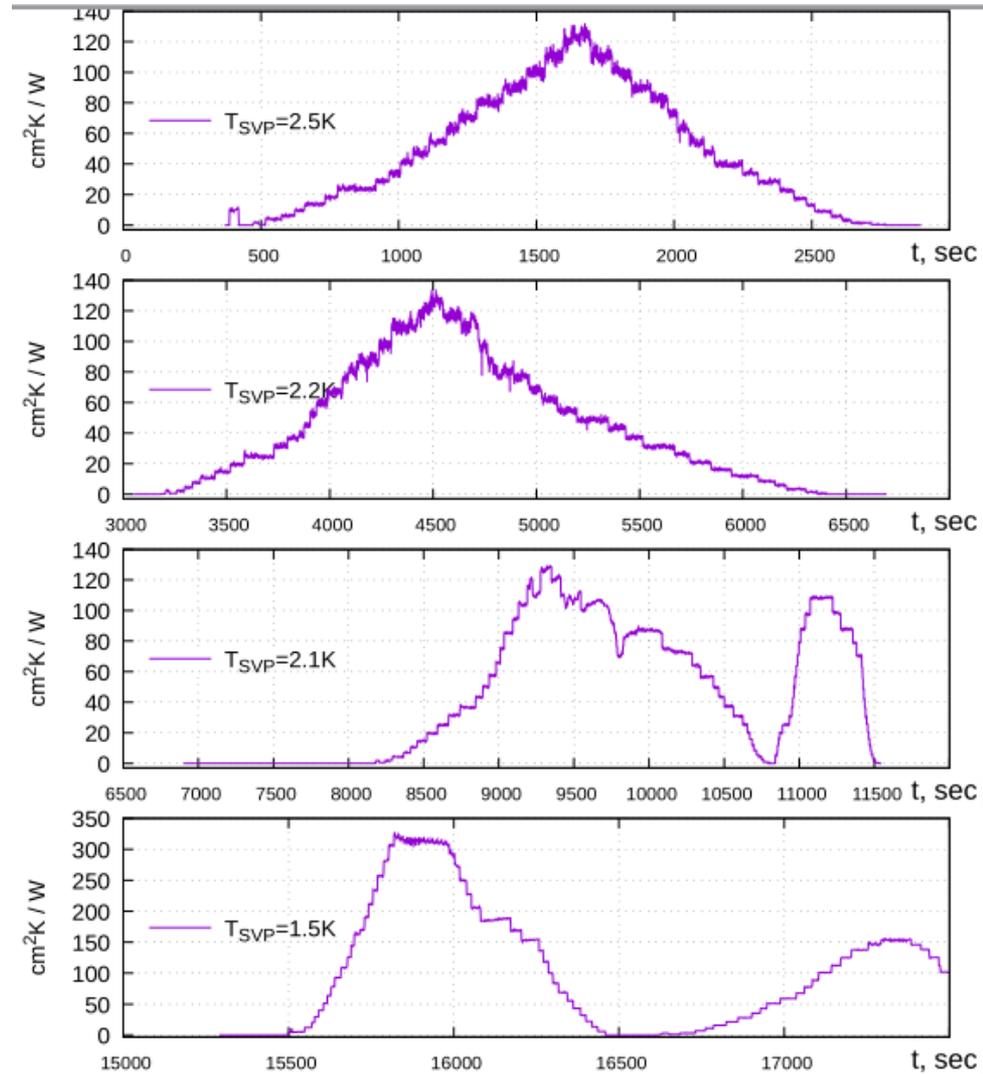
Зависимость перегрева образца от выделяемой на нём мощности



# Измерения



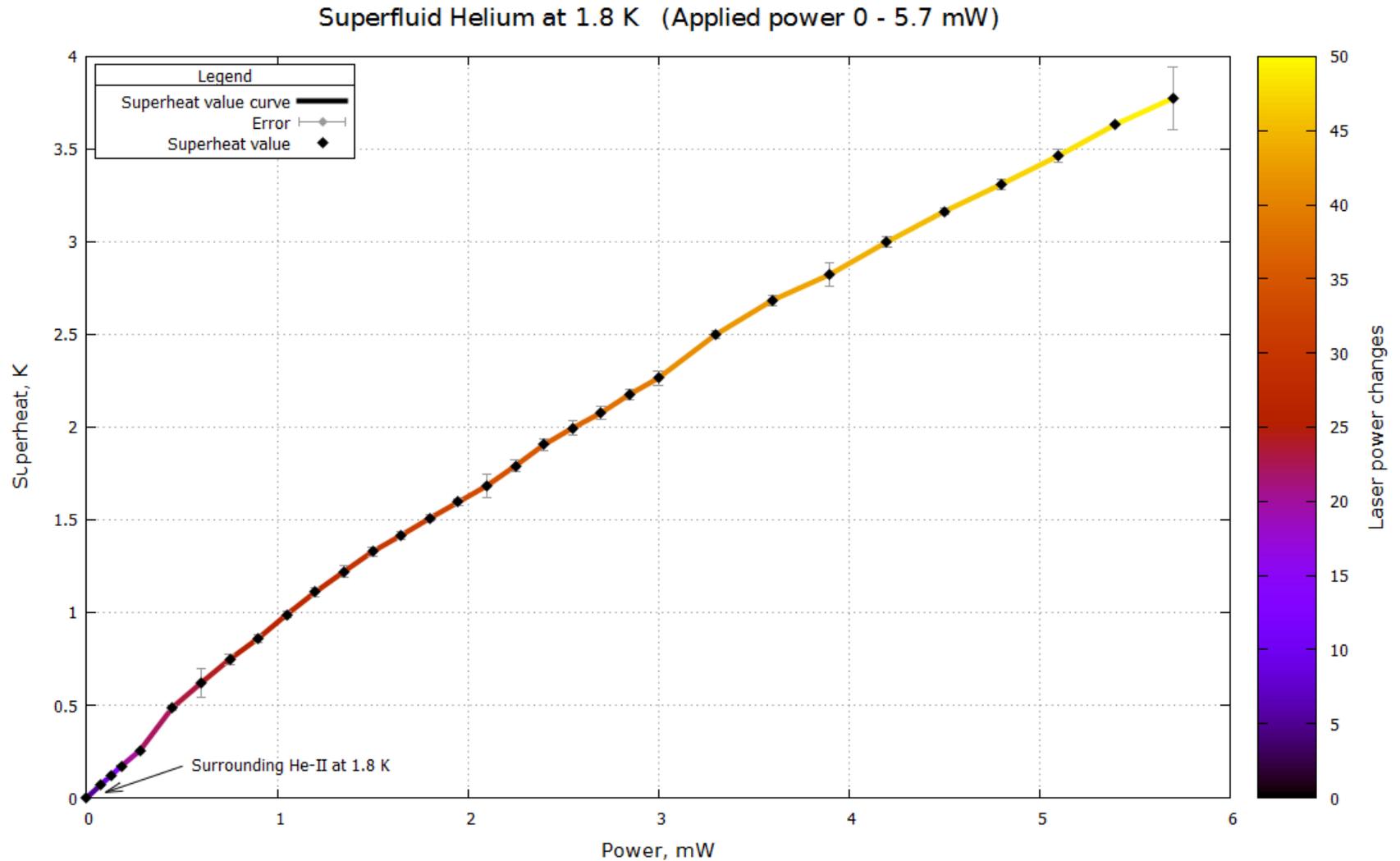
Перегрев при мощности лазера  $P = 2.5$  мВт



Временные диаграммы термосопротивления образца при пяти температурах гелиевой ванны



# Измерения



Зависимость температуры перегрева от приходящей мощности.  
Температура сверхтекучего гелия = 1.8 K