

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:

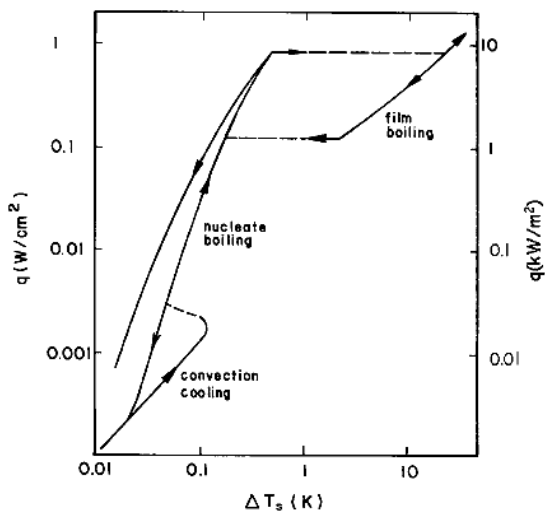
К.ф.-м.н., доцент базовой
кафедры физики низких
температур при Институте
физических проблем РАН
им. П.Л. Капицы
В.В. Завьялов

Цель работы

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

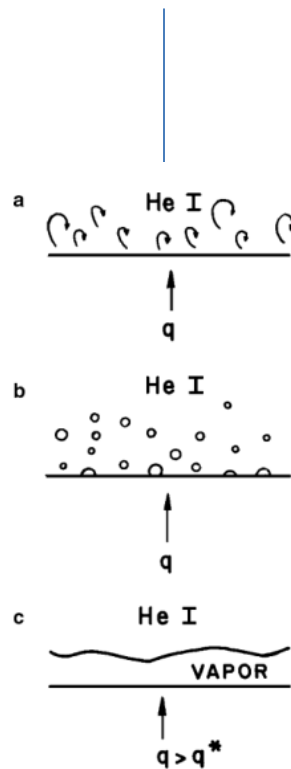
Режимы теплопереноса

Нормальный гелий

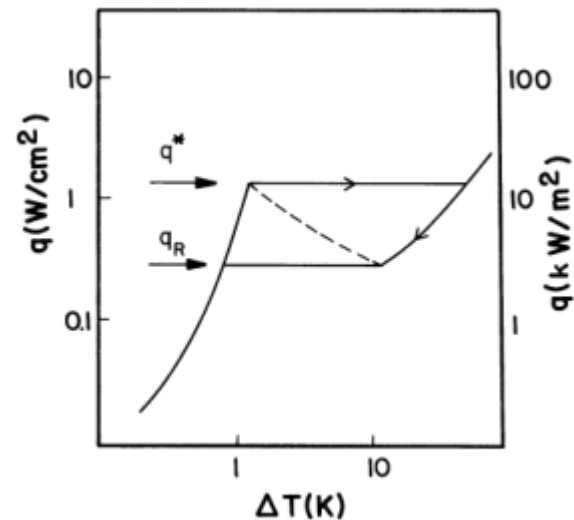


Типичное соотношение переноса тепла для кипящей жидкости

Сверхтекучий гелий

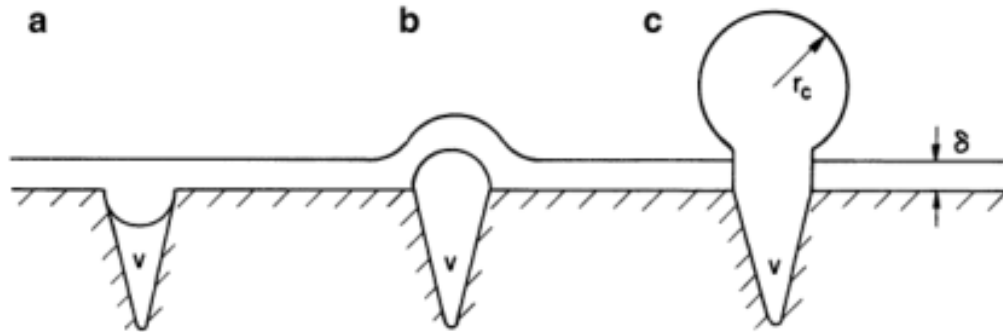


Схематичное изображение режимов передачи тепла: а - конвекция, b – пузырьковое кипение, с - плёночное кипение



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 σ - коэффициент поверхностного натяжения,

p_s - местное давление насыщенных паров,

h_{fg} - скрытая теплота испарения жидкости,

ΔT_s - разница между температурой насыщения и температурой внутри пузырька.

Плёночное кипение

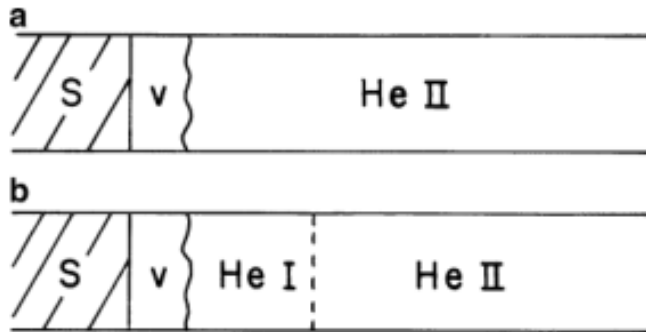


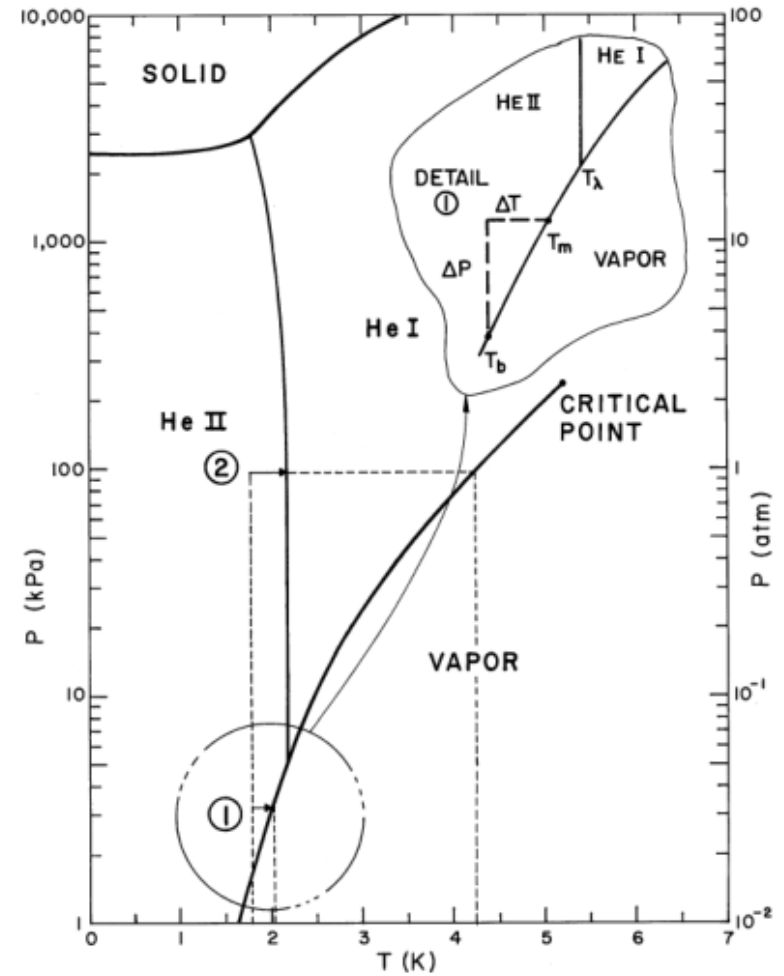
Схема кипения в He II

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

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

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

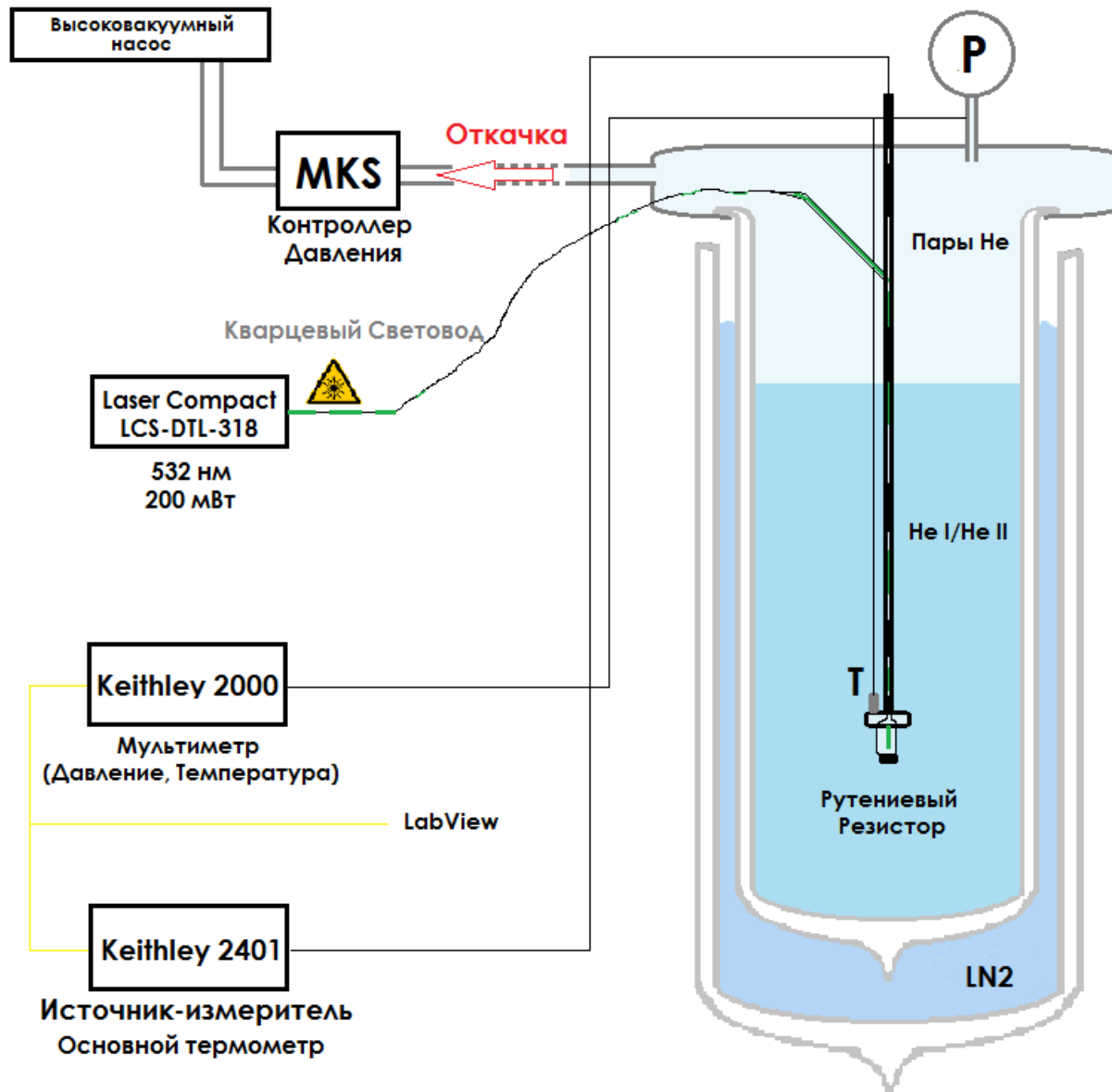
при $h_{fg} = 23$ кДж/кг, $\rho = 145$ кг/м³



Фазовая диаграмма P(T) гелия

(Sciver, 2012)

Схема экспериментальной установки



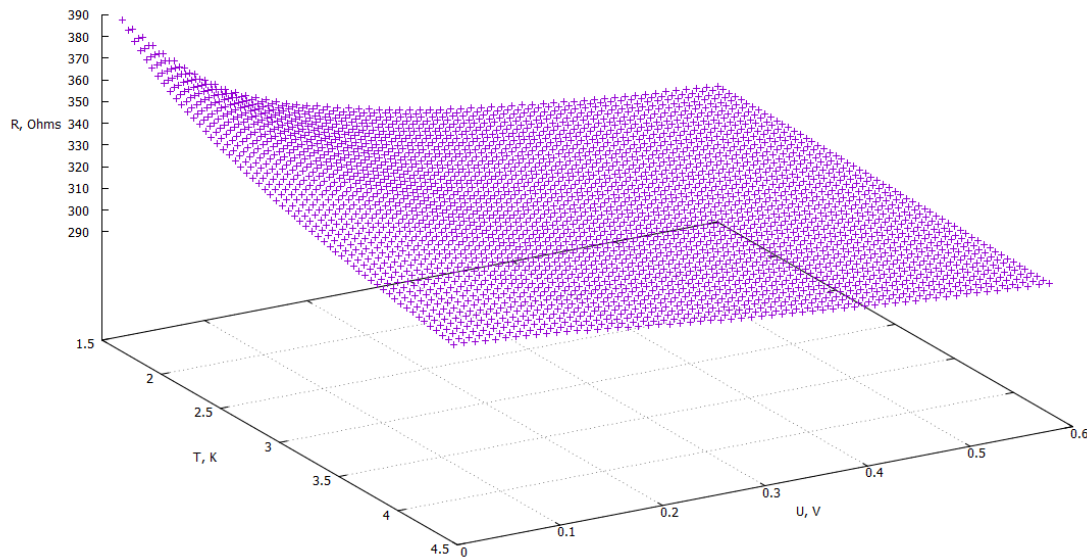
Ход работы



RuO₂ резистор (SMD)

$R = 275 \text{ Ом}$

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

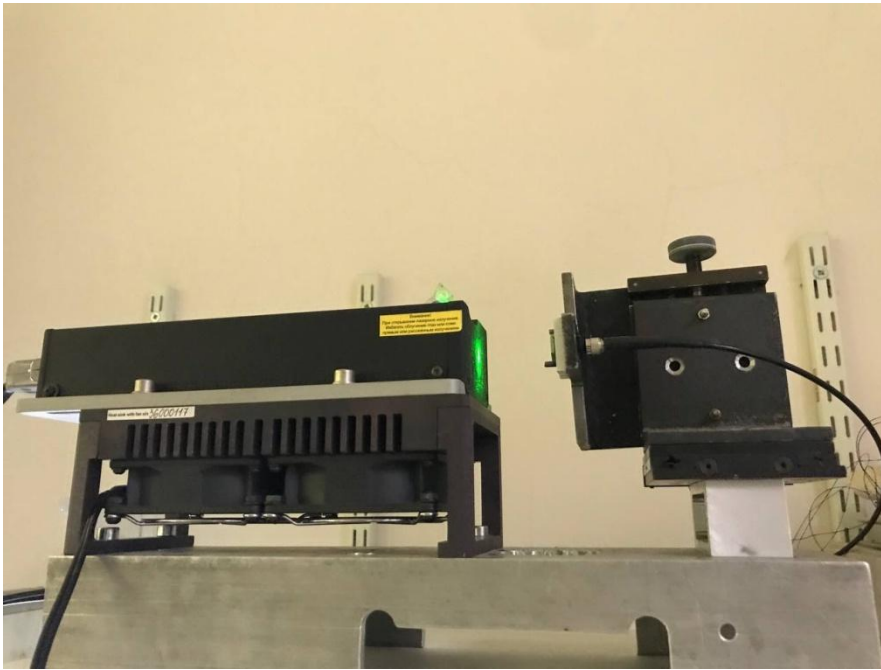


Поверхность $R(T, U)$, полученная в результате бикубического сплайна



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

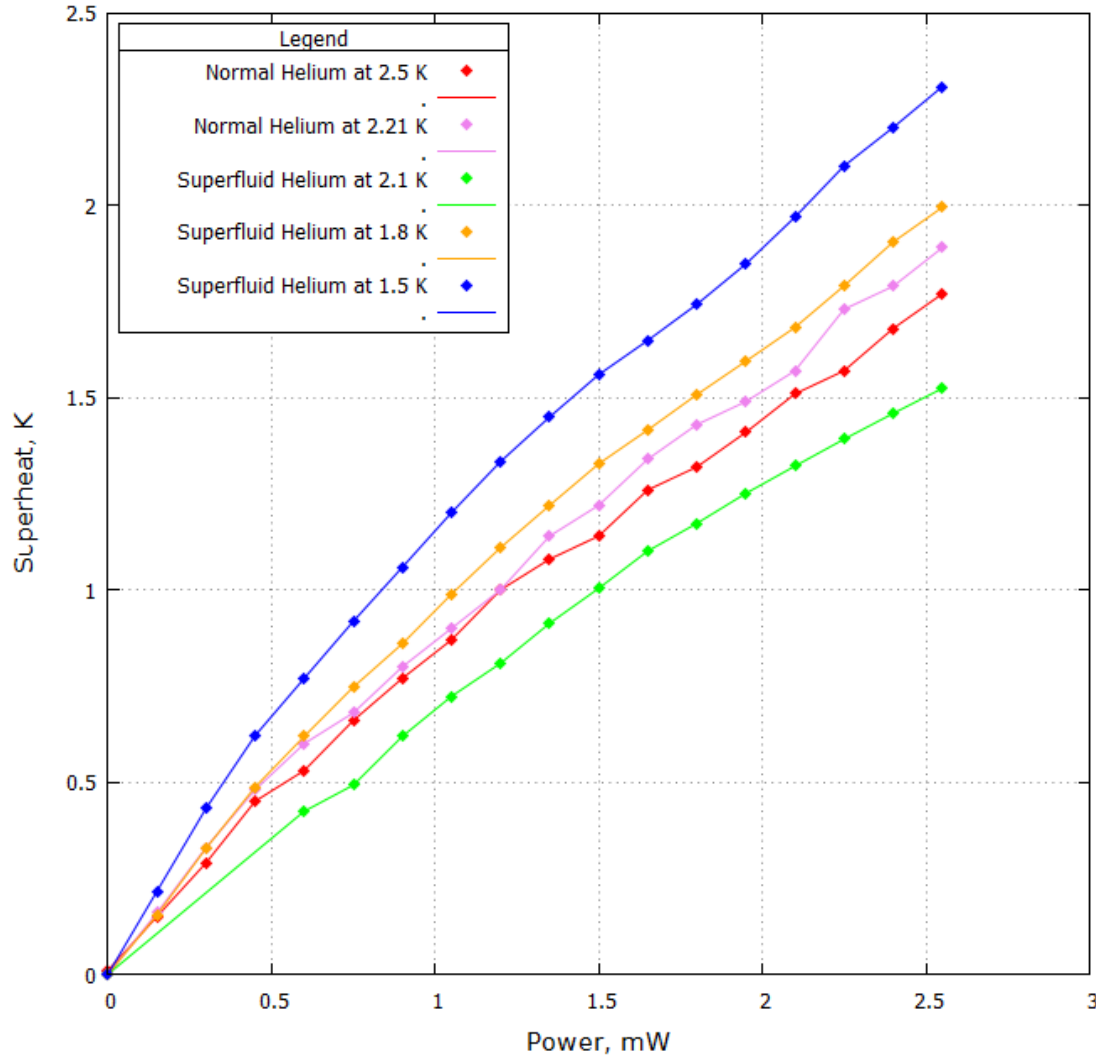
Ход работы



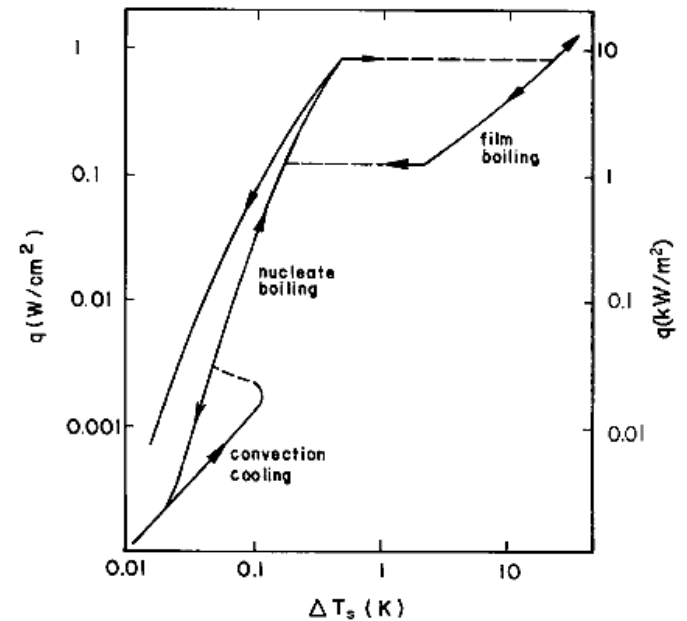
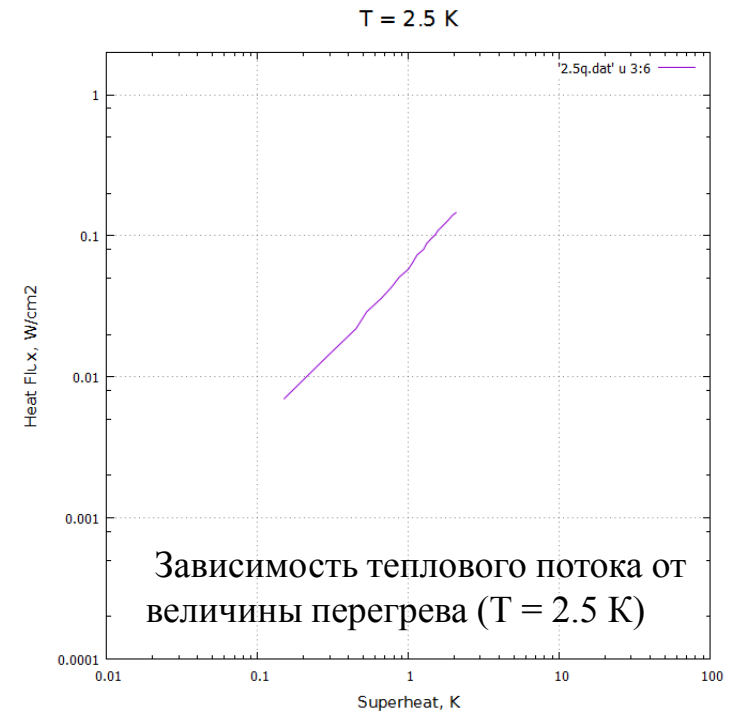
Лазер и линза световода, закрепленные на регулируемом столике

Измерения

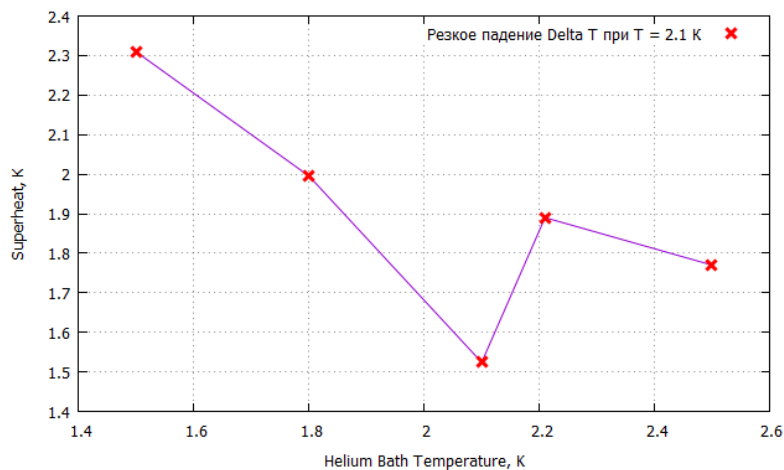
Superheat values for different temperatures of surrounding liquid Helium



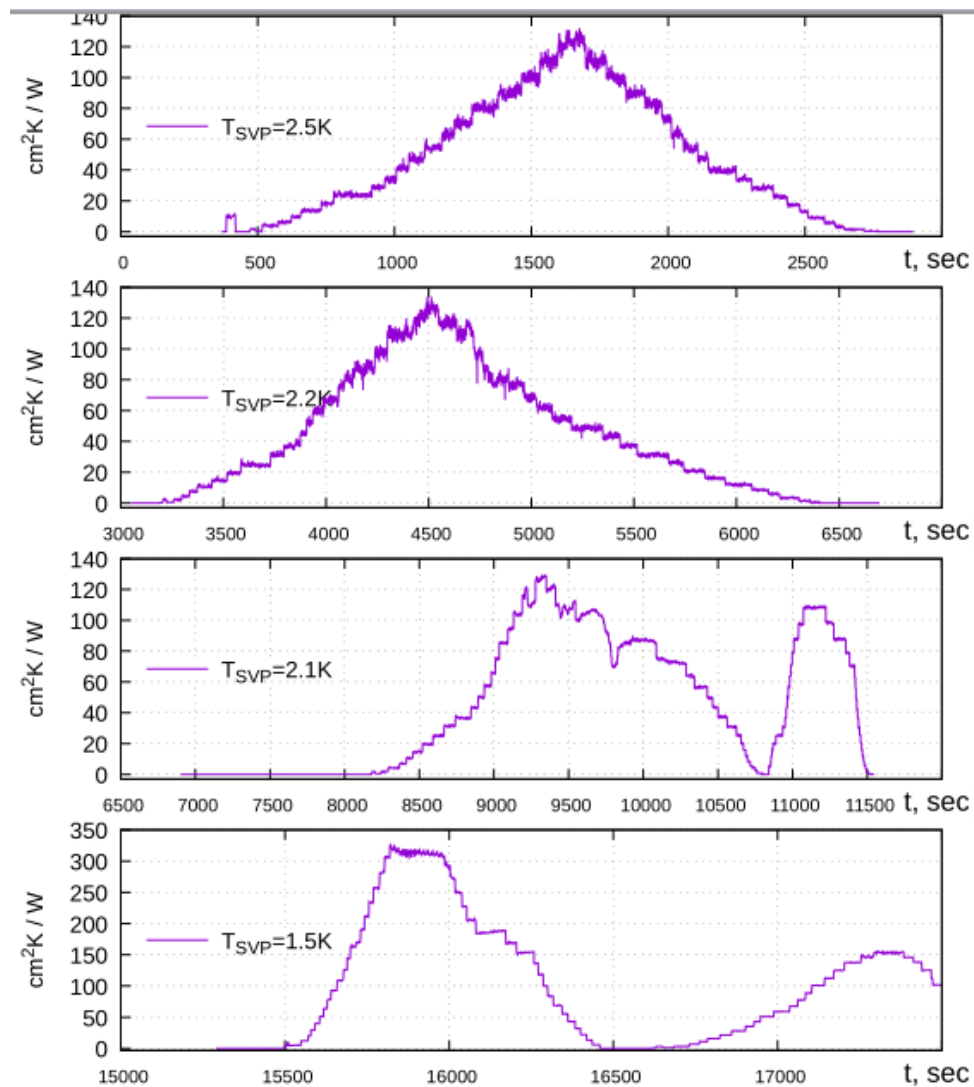
Зависимость перегрева образца от выделяемой на нём мощности



Измерения



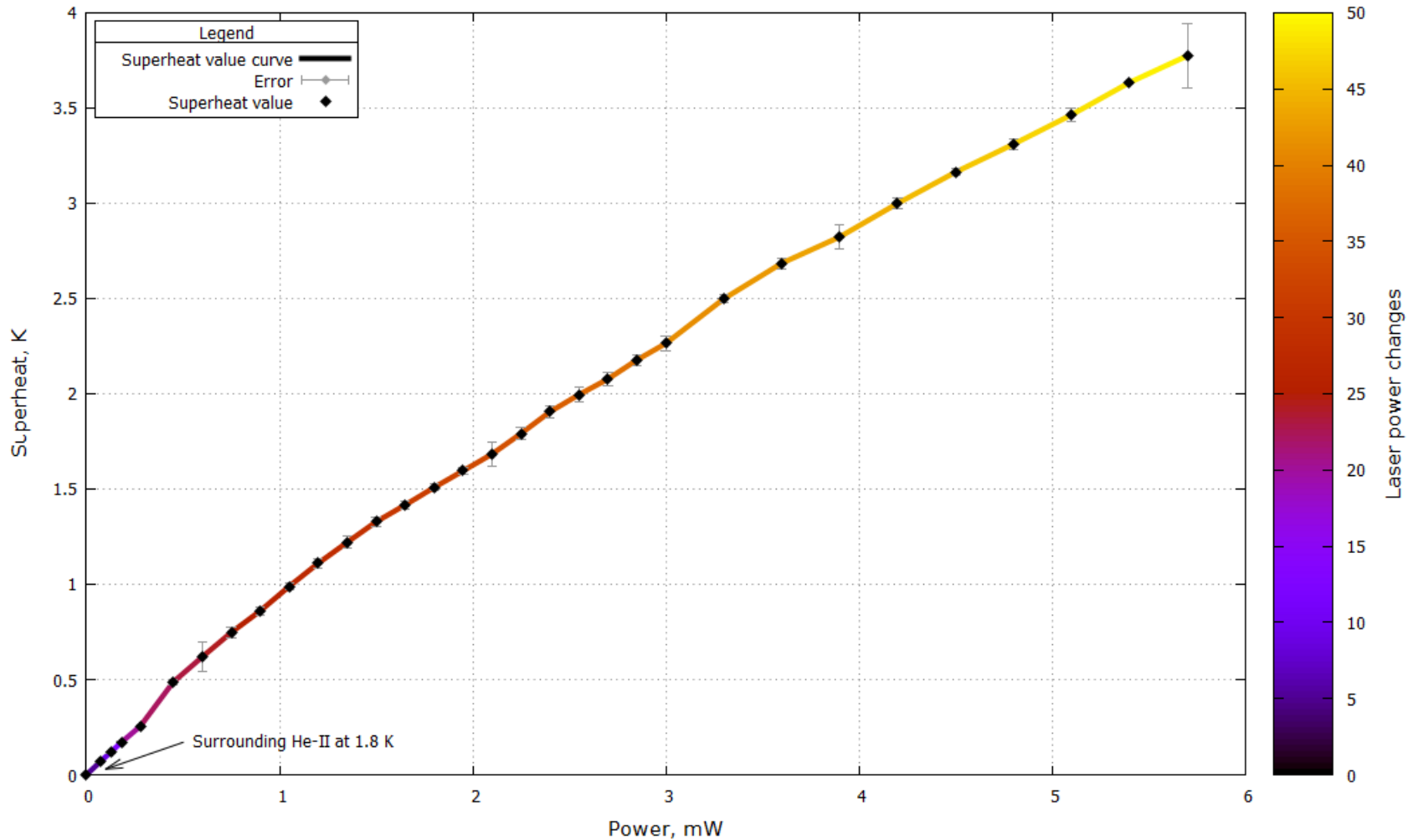
Перегрев при мощности лазера $P = 2.5$ мВт



Временные диаграммы термосопротивления образца при пяти температурах гелиевой ванны

Измерения

Superfluid Helium at 1.8 K (Applied power 0 - 5.7 mW)



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