

Международная конференция  
"Современные проблемы теплофизики и энергетики"

---

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
КИПЕНИЯ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ НА  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ ВНУТРИ  
ПОРИСТОЙ ОБОЛОЧКИ**

**Королев П.В.**

---

Москва  
9-11 октября 2017 г.

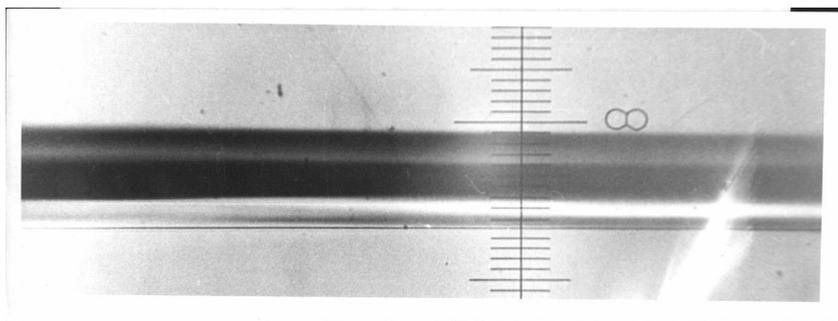
# Аннотация

**Рассматривается пленочное кипение сверхтекучего гелия на тонком цилиндрическом нагревателе, помещенном внутри цилиндрической пористой оболочки. Приводится описание экспериментальной ячейки, измерительного оборудования, полученных предварительных результатов. Анализируется форма межфазной поверхности пар – He-II .**

# Кипение гелия-II на тонкой проволоке

*Аметистов Е.В., Спиридонов А.Г. (МЭИ, 1981-1986)*

**Гладкая цилиндрическая пленка**



Диаметр нагревателя  $d_w = 191$  мкм

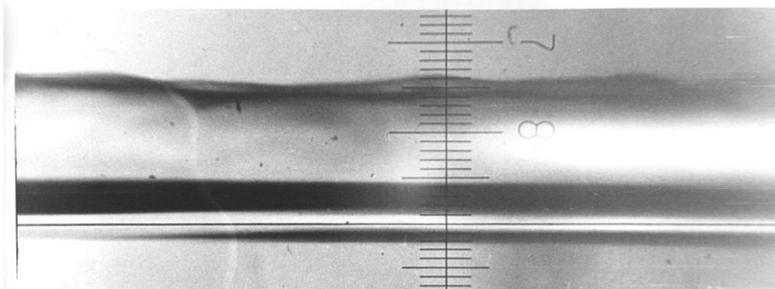
Глубина погружения  $h = 28$  мм

Температура жидкости  $T_b = 1.57$  К

Тепловой поток  $q_w = 1.81 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>

Температура нагревателя  $T_w = 64$  К

**Всплывшая пленка**



Диаметр нагревателя  $d_w = 191$  мкм

Глубина погружения  $h = 93$  мм

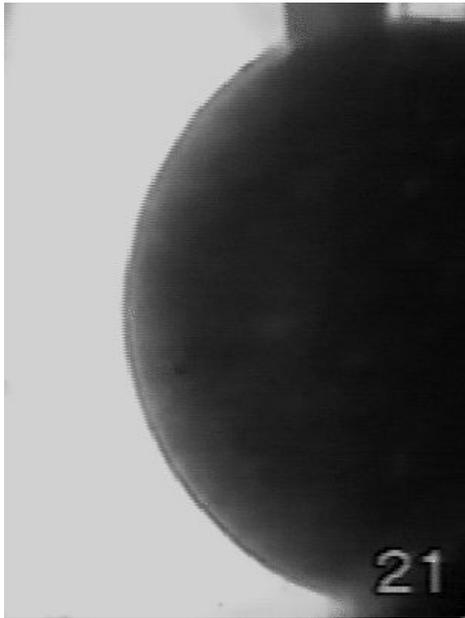
Температура жидкости  $T_b = 2.14$  К

Тепловой поток  $q_w = 6.7 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>

Температура нагревателя  $T_w = 144$  К

# Кипение гелия-II на шаре

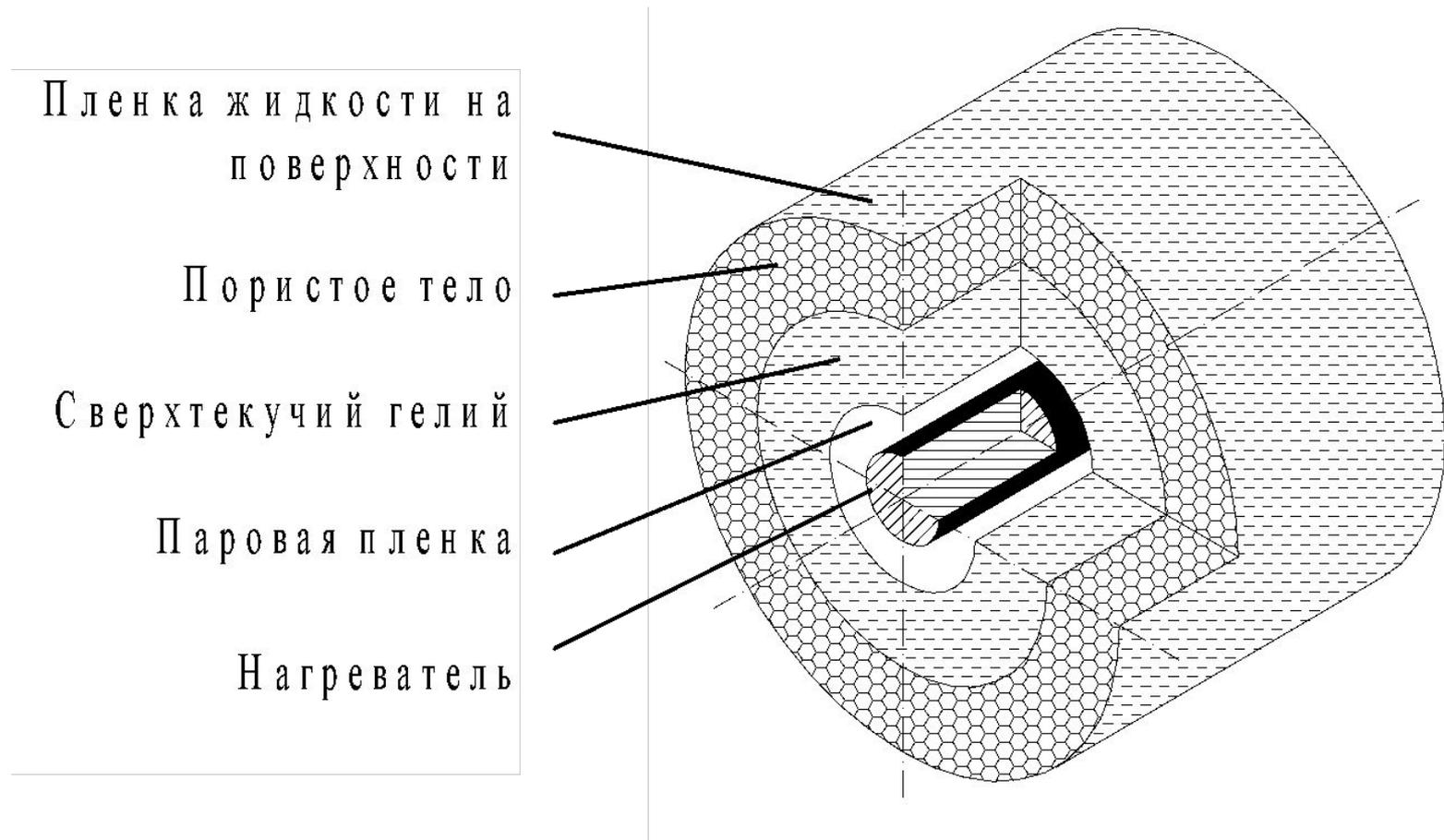
*Медников А.Ф., Крюков А.П. (МЭИ, 2005)*



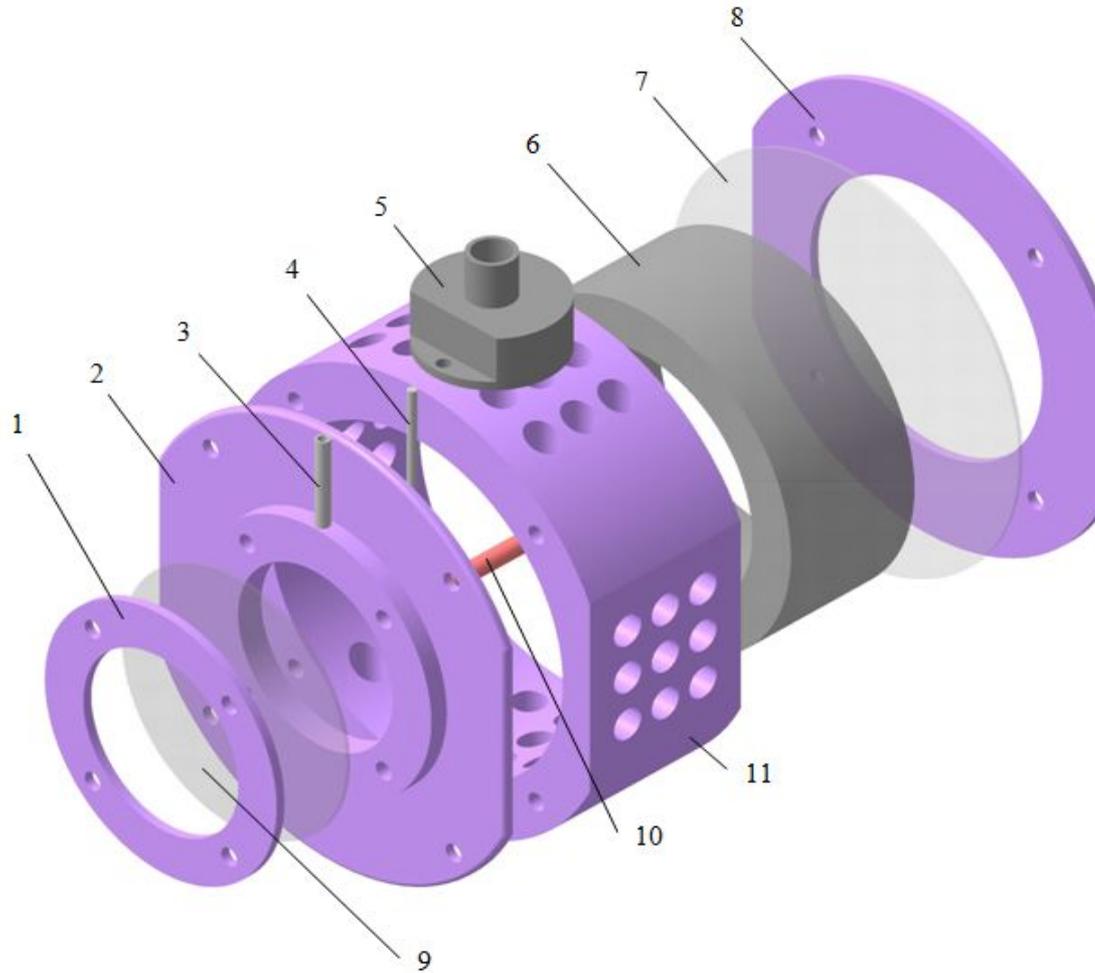
Диаметр шара (нагревателя)  $d_w = 6$  мм

Температура гелия-II  $T_b \approx 2$  К

# Схема процесса кипения Не-II в условиях невесомости внутри пористой структуры

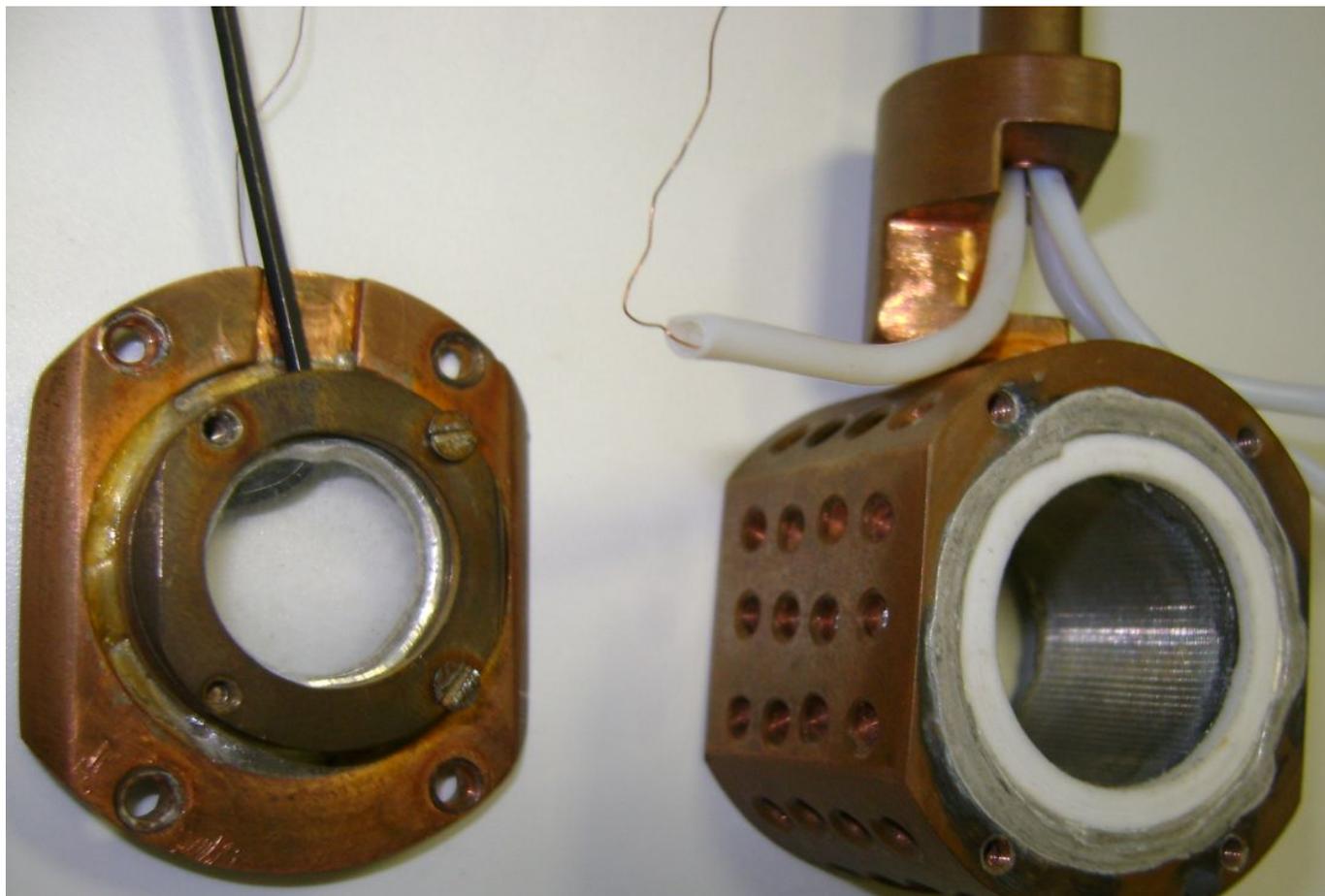


# Схема экспериментальной ячейки для исследования кипения $He-II$ в невесомости

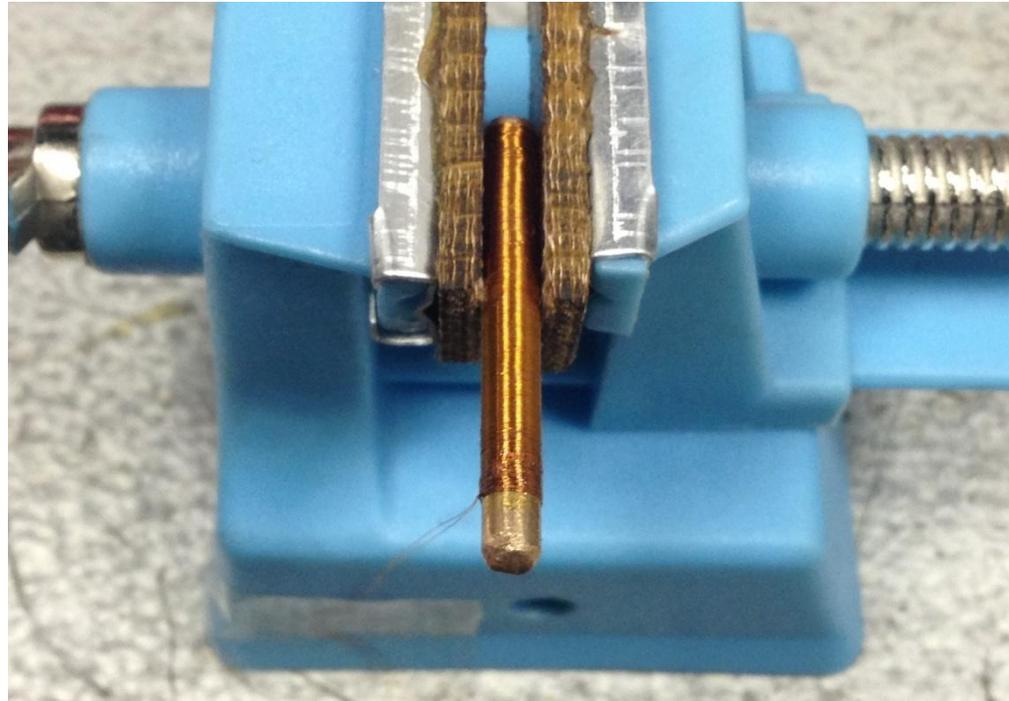


1, 2, 8 – крышки; 3 – патрубок; 4 – держатель; 5 – шток; 6 – пористая оболочка; 7, 9 – стекла смотровых окон; 10 – нагреватель; 11 – корпус

**Фото опытного образца экспериментальной ячейки  
для исследования кипения He-II  
в стесненных условиях**



# Цилиндрический нагреватель

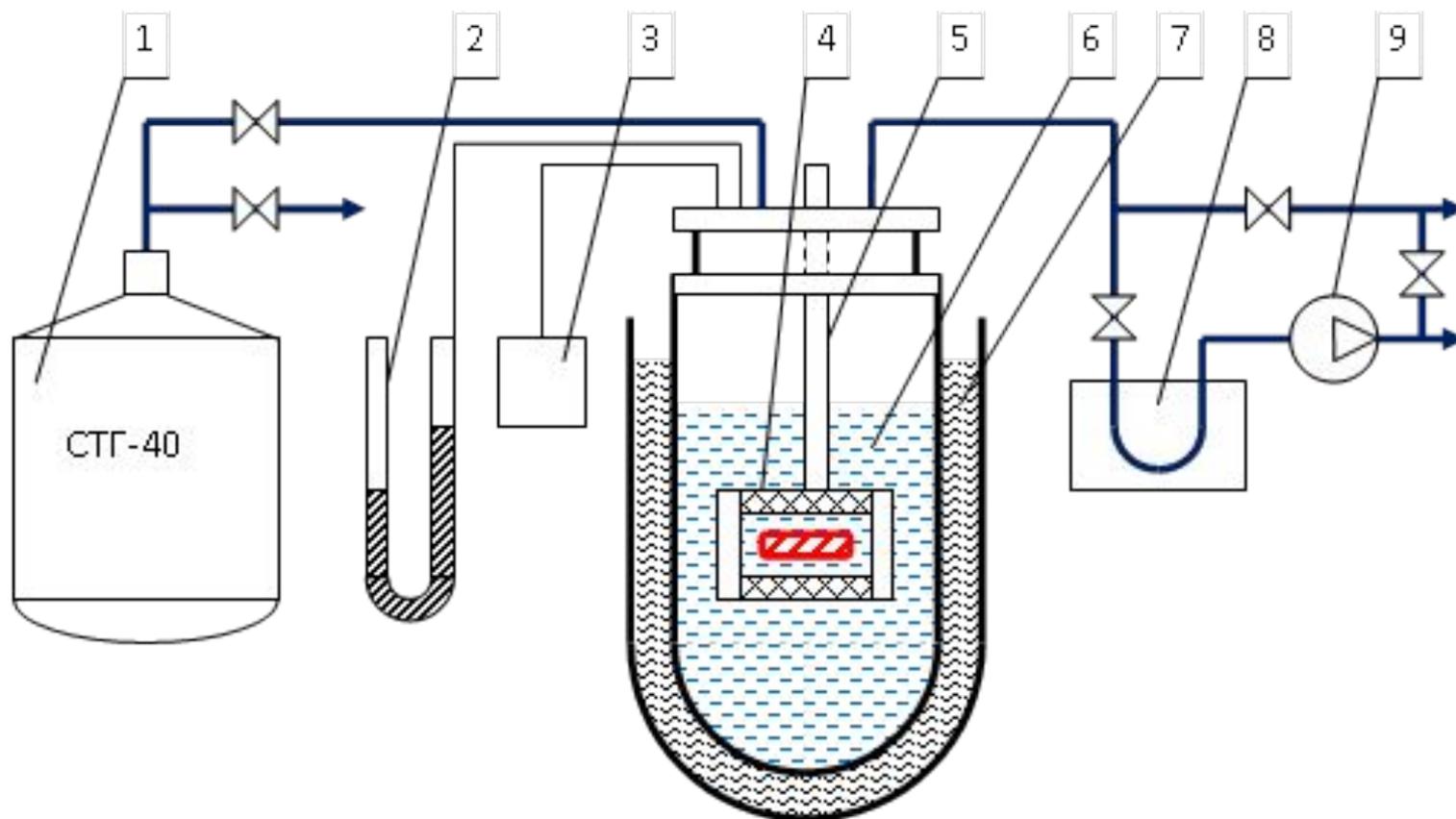


**Диаметр – 3 мм**

**Длина – 38 мм**

**Диаметр проволоки – 50 мкм**

# Схема экспериментального стенда



**1 – транспортный сосуд Дьюара; 2 – манометр ртутный; 3 – емкостной датчик давления «Баратрон»; 4 – экспериментальная ячейка; 5 – подвес, 6 – гелиевый сосуд Дьюара; 7 – азотный сосуд Дьюара; 8 – азотная ловушка; 9 – насос вакуумный НВЗ-20**

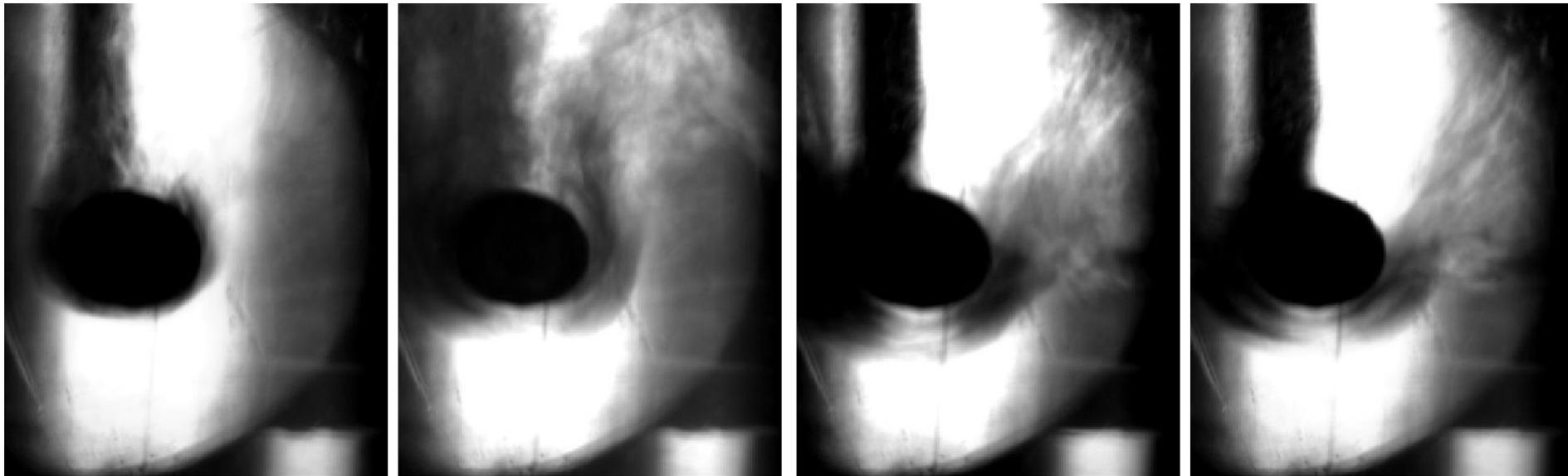
# Экспериментальный стенд



# Схема системы телеметрии



# Кадры видеосъемки кипения He-II внутри пористой оболочки



а)

б)

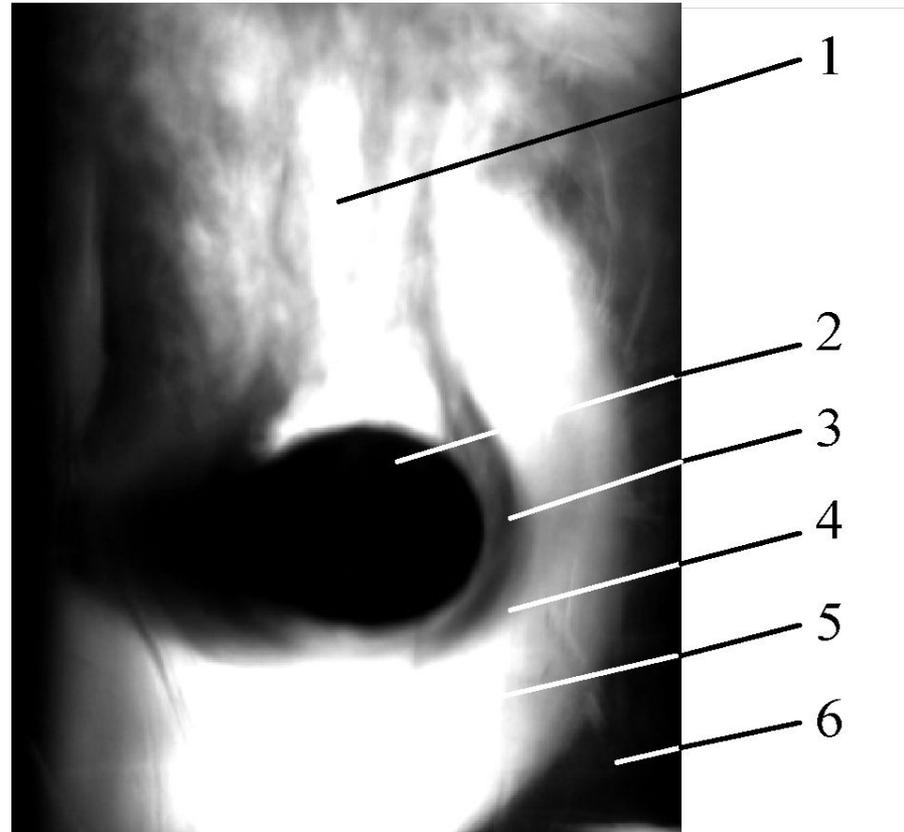
в)

г)

$$T_b \approx 2 \text{ К}, \quad q_w = 3,7 \text{ кВт/м}^2.$$

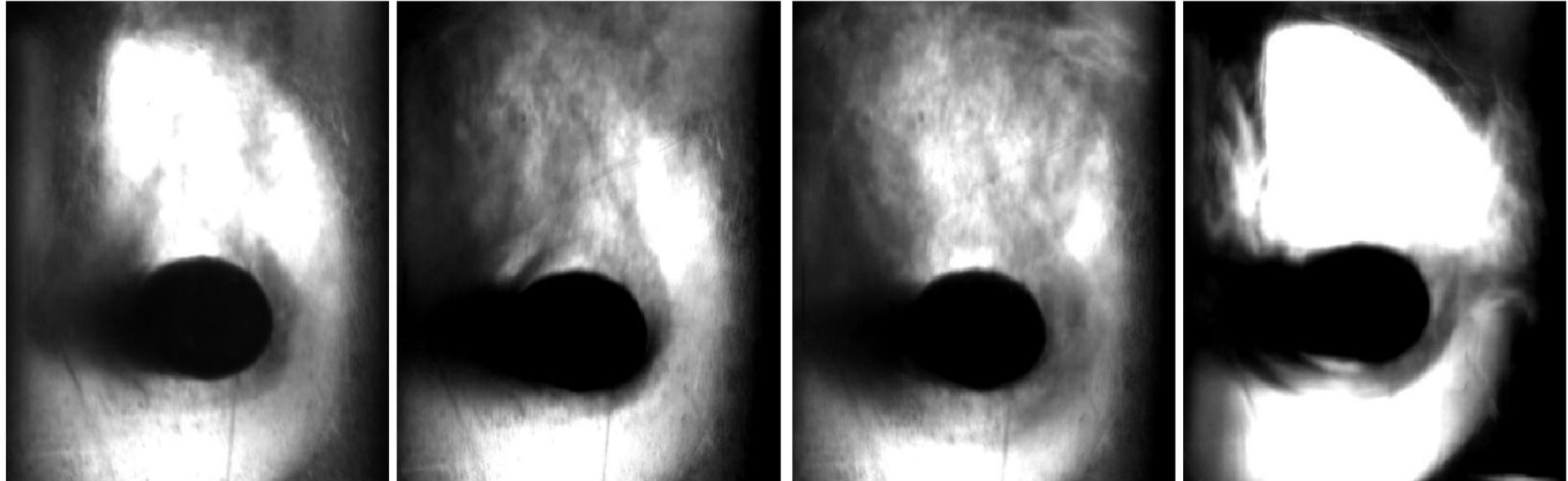
Интервал времени между кадрами – 0,67 с.

# Характерная картина развитого кипения Не-II внутри пористой оболочки



1 – скопление пара, 2 – нагреватель, 3 – паровая плёнка,  
4 – межфазная поверхность, 5 – жидкость, 6 – корпус ячейки  
 $q_w = 9,8 \text{ кВт/м}^2$ ,  $T_w = 37,4\text{К}$ ,  $P_b = 2630 \text{ Па}$ ,  $h = 24 \text{ см}$

# Кадры видеосъемки кипения He-II внутри пористой оболочки



а)

б)

в)

г)

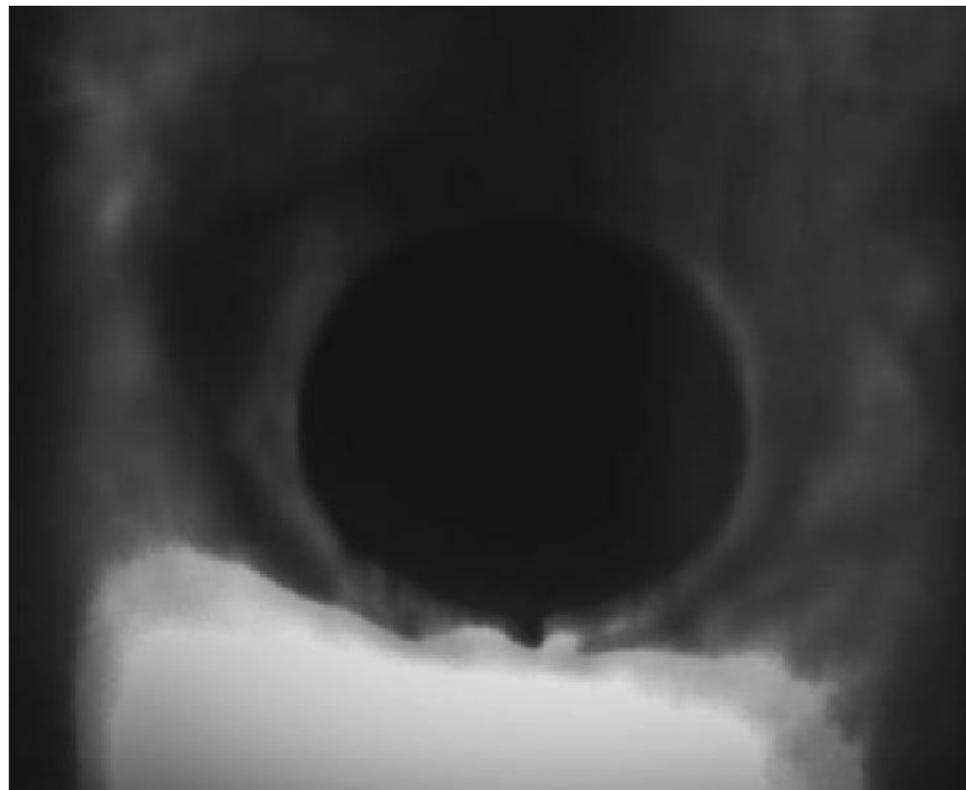
а)  $q_w = 9820 \text{ Вт/м}^2$ ,  $P_b = 2598 \text{ Па}$ ,  $h = 25 \text{ см}$ ;

б)  $q_w = 9749 \text{ Вт/м}^2$ ,  $P_b = 4029 \text{ Па}$ ,  $h = 25 \text{ см}$ ;

в)  $q_w = 8716 \text{ Вт/м}^2$ ,  $P_b = 4408 \text{ Па}$ ,  $h = 10 \text{ см}$ ;

г)  $q_w = 8647 \text{ Вт/м}^2$ ,  $P_b = 4473 \text{ Па}$ ,  $h = 5 \text{ см}$ .

# Кипение He-II в экспериментальной ячейке со снятыми торцевыми стеклами

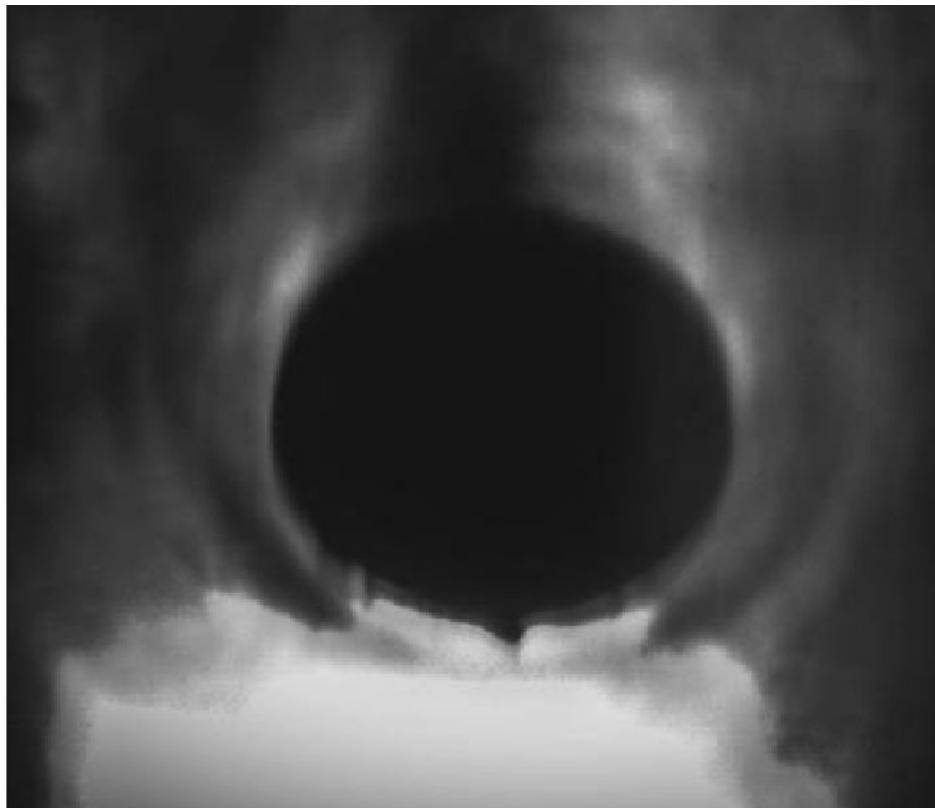


a)

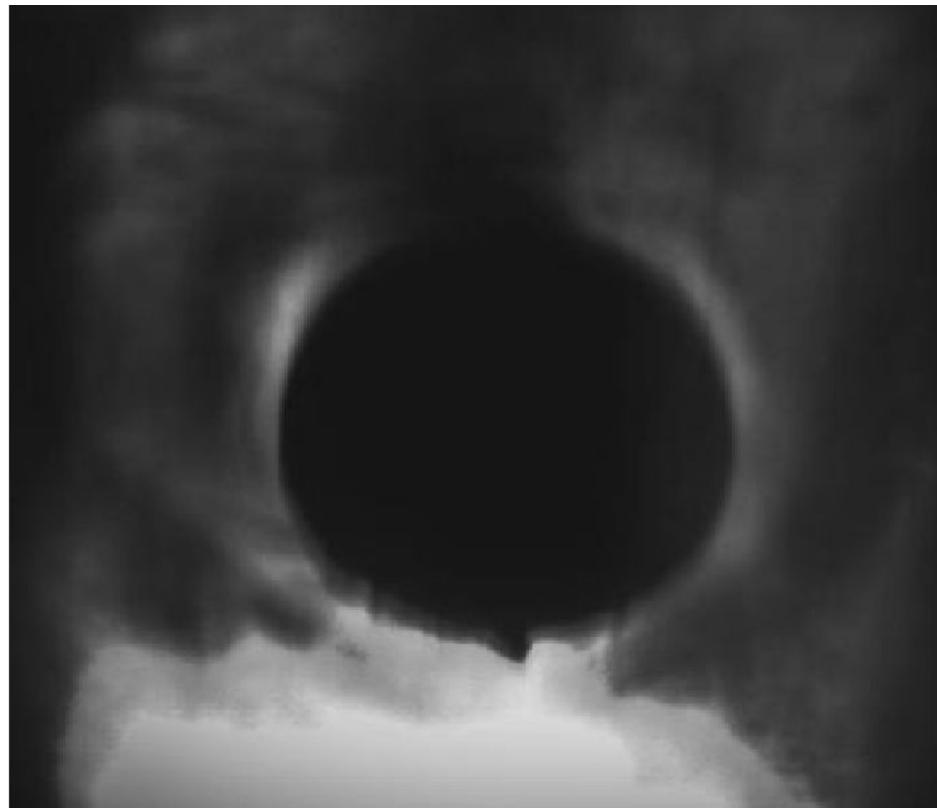


б)

# Кипение He-II в экспериментальной ячейке со снятыми торцевыми стеклами (продолжение)



В)



Г)

# Заключение

В экспериментах по исследованию кипения гелия-II на цилиндрическом нагревателе, расположенном внутри пористого тела, видеосъемка впервые осуществлялась с торца нагревательного элемента. Результаты проведенных опытов показали, что при разных глубинах погружения экспериментальной ячейки в жидкость картины пленочного кипения, характерной для гелия-II не наблюдается. Предварительный расчетный анализ позволял предполагать возможность существования на поверхности нагревателя гладкой устойчивой паровой пленки коаксиальной нагревателю. Вместо этого во всех экспериментах наблюдалась незамкнутая паровая пленка, при этом пар скапливался в верхней части внутренней полости пористой оболочки. Таким образом, формировалась картина пленочного кипения близкая к таковой у обычных жидкостей. Поэтому в дальнейшем предполагается провести анализ процессов тепломассопереноса, приводящих к нарушению целостности пленки и скоплению пара в ячейке. С этой же целью планируется проведение экспериментов при более низких температурах гелия-II.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**