

4558

Эн. чит. зал

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P8 - 4558



И.Н.Гончаров, Хван Зон Су, Ф.Хованец

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ
ОТ ТОНКИХ ЦИЛИНДРОВ К ЖИДКОМУ ГЕЛИЮ I

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1969

Р8 - 4558

И.Н.Гончаров, Хван Зон Су, Ф.Хованец

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ
ОТ ТОНКИХ ЦИЛИНДРОВ К ЖИДКОМУ ГЕЛИЮ I**

Направлено в "Инженерно-физический журнал"

В ряде случаев оказывается необходимым знать величины, характеризующие процесс теплопередачи от цилиндров, имеющих диаметр $0,05 + 0,5$ мм, к жидкому гелию в области пузырькового кипения (например, при исследовании перехода сверхпроводящих проволок в нормальное состояние под действием тока). В литературе отсутствовали экспериментальные данные об этих величинах (см. обзор /1/ с приведенными там ссылками), а теоретические расчеты по теплопередаче в области пузырькового кипения относились лишь к плоским поверхностям /2-4/. Вследствие этого мы исследовали зависимость скачка температуры на границе между образцом и жидким гелием от плотности теплового потока для цилиндров разных диаметров в области $T_b = 2,2 + 4,2^\circ\text{K}$.

В качестве образцов использовались неотожженные проволоки из константана или манганина, с которых лаковая изоляция была удалена с помощью тонкой ("микронной") наждачной бумаги с последующей очисткой в спирте. Часть образца (длиной $6 + 60$ мм) между прижимными потенциальными контактами, в качестве которых использовалась тонкая проволока, располагалась в гелиевой ванне вертикально или горизонтально на заданном уровне ниже поверхности жидкости. Образец нагревался путем пропускания через него тока I , а эффективная темпе-

ратура T_{ef} образца определялась по его электросопротивлению из условия $R(I)|_{T_b} = R(0, T)$. Предварительно для образца каждого диаметра была определена зависимость $R(0, T)$ на малом измерительном токе, не приводящем к заметному перегреву проволоки. Эта зависимость была линейной в области $1,6 \pm 9^\circ K$, а чувствительность $\frac{\Delta R(T)}{R(T)}$ составляла порядка $0,006 \%$ /град для константана и $0,025 \pm 0,040\%$ /град для манганина (чувствительность возрастала с увеличением диаметра проволок D). Падение напряжения на образце и нормальном сопротивлении, включенном последовательно с образцом для контроля тока, измерялось потенциометром класса $0,002$. Ошибка в определении эффективной температуры составляла порядка $\pm 0,1^\circ K$ для образцов из манганина (образцы из константана использовались практически лишь для определения максимальной плотности теплового потока при пузырьковом кипении $(\dot{Q}/A)_{max}$). Внутри образца, перегретого током, возникает неоднородное распределение температуры по радиусу, вследствие чего T_{ef} оказывается несколько выше, чем температура поверхности T_s . Численный расчет показал, что при $(\dot{Q}/A) = (\dot{Q}/A)_{max}|_{4,2^\circ K}$ разница $T_{ef} - T_s$ составляет $0,15^\circ K$ для проволоки с $D = 0,09$ мм и $\approx 0,25^\circ K$ для проволоки с $D = 0,24$ мм. В случае образцов с D , равным $0,05$ и $0,5$ мм, расчетная величина $\Delta T_{Smax} = T_{Smax} - T_b$ при $(\dot{Q}/A) = (\dot{Q}/A)_{max}|_{T_b}$ приведена на рис. 4 (кривые с индексом "b") вместе с ΔT_{efmax} (кривые с индексом "a").

Результаты измерений $(\dot{Q}/A) = f(\Delta T_{ef})$ приведены на рис. 1 и 2 вместе с теоретическими кривыми, рассчитанными по формуле Кутателадзе ^{/2/} для области пузырькового кипения и по формуле Брина-Уэст-уотера ^{/5/} для области пленочного кипения. Из рисунков видно, что, во-первых, в зависимости $\dot{Q}/A \approx (\Delta T)^a$ вместо предсказываемой теорией ^{/2/} величины $a = 2,5$ эксперимент дает гораздо меньшую величину $1,2 \pm 1,5$ (с учетом того, что $\Delta T_s \neq \Delta T_{ef}$). Во-вторых, при

уменьшении T_b экспериментальные кривые смещаются вправо гораздо меньше, чем предсказывается теорией ^{/2/}. В-третьих, в области пленочного кипения эксперимент достаточно хорошо совпадает с теорией ^{/5/} (особенно если учесть сдвиг влево кривых за счет того, что $\Delta T_s < \Delta T_{et}$). В-четвертых, максимальная плотность теплового потока, при котором пузырьковое кипение переходит в пленочное $(\dot{Q}/A)_{\max}$, оказывается, сильно зависит от диаметра, возрастая почти как $1/D$ при уменьшении диаметра от 0,5 до 0,05 мм (см. рис. 3). Это обстоятельство совсем не учитывается существующей теорией. (Надо отметить, что в работе ^{/6/}, в которой при $4,2^\circ\text{K}$ исследовалась зависимость $(\dot{Q}/A)_{\max}$ от $D > 0,3$ мм, наблюдался нерегулярный разброс около $0,6 \pm 0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$).

Из рис. 4 видно, что несмотря на большое различие $(\dot{Q}/A)_{\max}$ для образцов разного диаметра, зависимость этой величины от T_b подчиняется общему закону (кривая для приведенной величины $\dot{Q}(T_b)_{\max}/\dot{Q}(4,2^\circ\text{K})_{\max}$). Здесь так же, как и в работе ^{/7/}, величина $(\dot{Q}/A)_{\max}$ меняется мало при уменьшении T_b от $4,2$ до $\approx 3,2^\circ\text{K}$, а затем резко падает, уменьшаясь почти в 2 раза при $T_b = 2,2^\circ\text{K}$. В той же области разность температур на границе между поверхностью образца и жидким гелием существенно возрастает с уменьшением T_b (см. рис. 4, вверху). При этом, если температура гелиевой ванны постоянна, ΔT_s тем выше, чем меньше диаметр образца (см. также рис. 2).

Все приведенные выше результаты относились к случаю, когда образцы располагались горизонтально. При повороте их в вертикальное положение величина $(\dot{Q}/A)_{\max}$ уменьшалась на 20–30%, что хорошо согласуется с данными работы ^{/7/} для плоской поверхности.

Таким образом, для объяснения обнаруженной в настоящей работе сильной зависимости от диаметра некоторых величин, характеризую-

ших теплопередачу в области пузырькового кипения, необходима модификация существующей теории.

В заключение авторы выражают признательность Л.В. Петровой и В.Ф. Чумакову, помогавшим при некоторых измерениях.

Л и т е р а т у р а

1. R.V.Smith. Cryogenics, 9, No.1, 11 (1969).
2. С.С.Кутателадзе. Теплопередача при концентрации и кипении. Машгиз, Москва, 1952.
3. E.G.Brentari, R.V.Smith. Int. Advances in Cryog.Eng., 10, part 2, 325 (1965).
4. N.Zuber, M.Tribius, J.W.Westwater. Proc. of the Int. Conf. on Heat Transfer, ASME, Boulder, Colorado, p.230 (1961).
5. B.P.Breen, J.W.Westwater. Chem. Eng. Progr., 58, No.7, 67 (1962).
6. J.Jackson, A.S.Fruin. Proc. of the Int. Conf.on Magnet.Technology, p.494 (1967).
7. D.N.Lyon... Int. Advances in Cryog. Eng., 10, part 2, 371 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел

25 июня 1969 года.

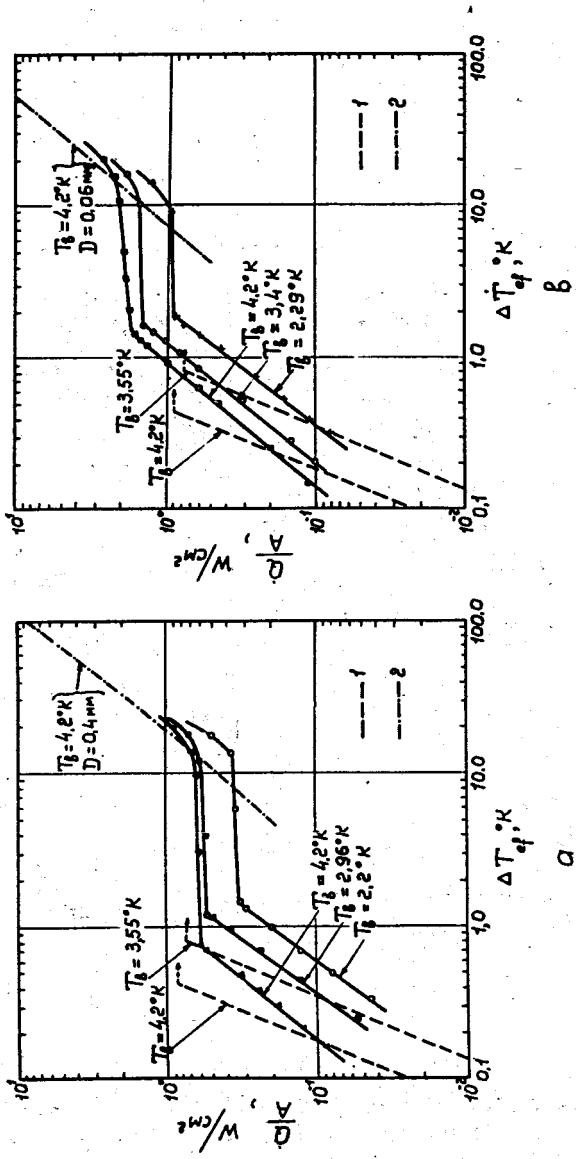


Рис.1. Зависимость Q/A от ΔT_0 при различных температурах гелиевой ванны: а - для образца с $D = 0,5$ мм; б - для образца с $D = 0,05$ мм. Теоретические кривые рассчитаны соответственно, 1 - по формуле Кутателадзе /2/; 2 - по формуле Бригна-Уэстуотера /5/.

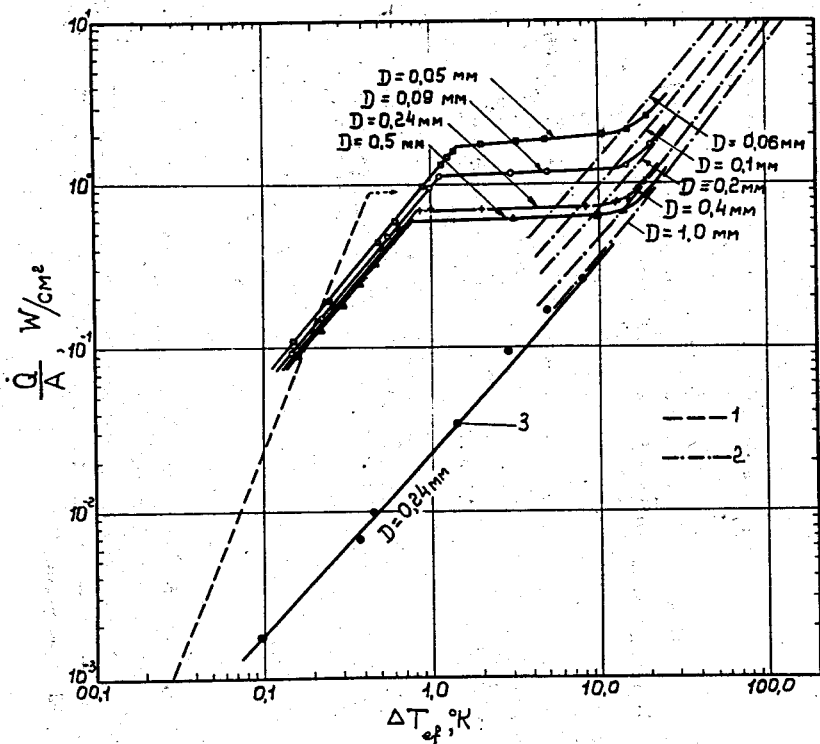


Рис.2. Зависимость \dot{Q}/A от ΔT_{ef} при $4,2^\circ K$ для образцов разного диаметра. Кривая 3 для $D = 0,24$ мм относится к случаю, когда образец был обернут изоляционной лентой. Теоретические кривые рассчитаны соответственно: 1 - по формуле Кутателадзе [2]; 2 - по формуле Брина-Уэстгостера [5].

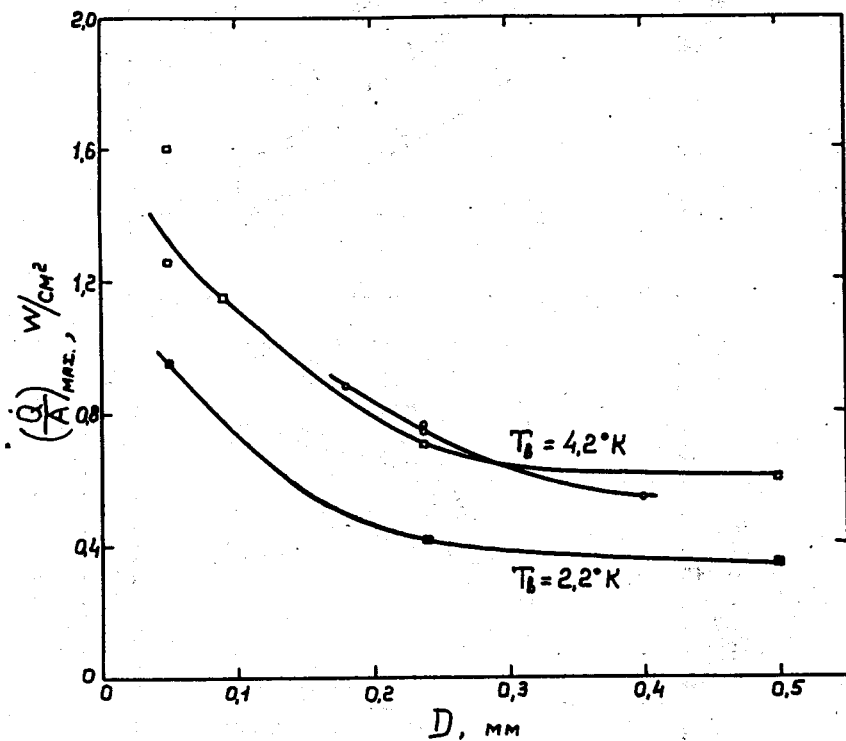


Рис.3. Зависимость $(Q/A)_{\max}$ от диаметра образцов при $T_b = 2,2$ и $4,2^\circ K$. \square \blacksquare - манганин; \circ - константан.

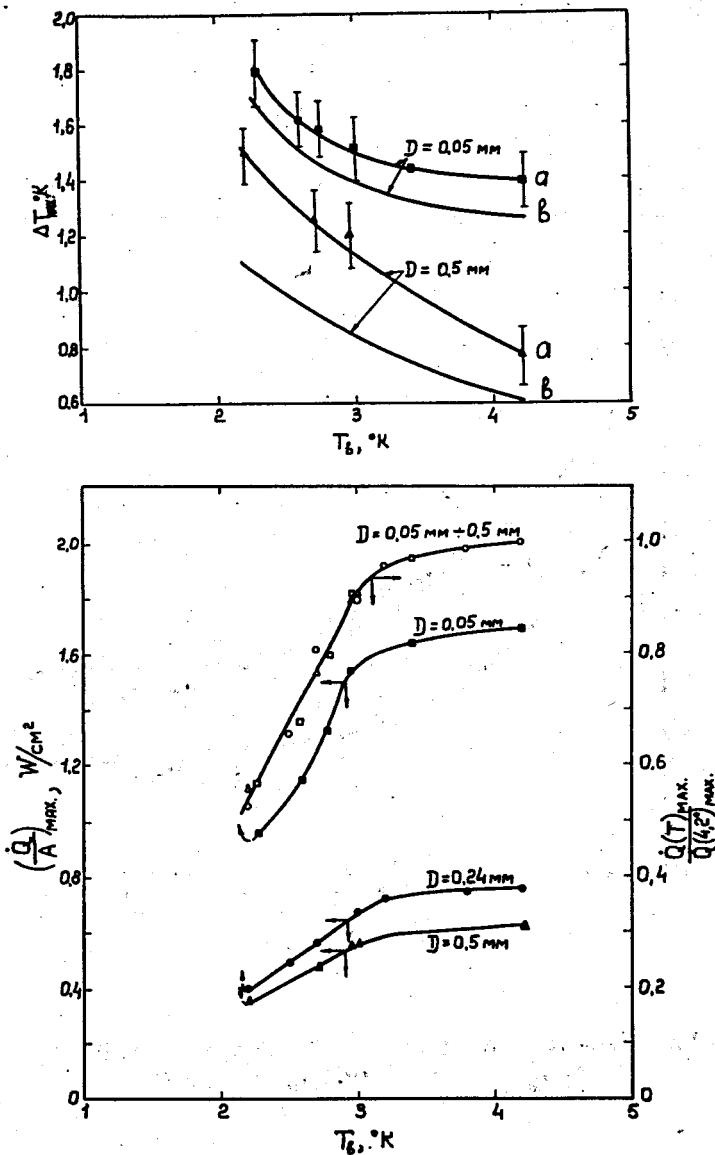


Рис.4. Зависимость $(\dot{Q}/A)_{\text{max}}$, $\Delta T_{\text{ст.к,max}}$ (кривые с индексом "а") и $\Delta T_{\text{сmax}}$ (кривые с индексом "б") от температуры гелиевой ванны для образцов разного диаметра.