

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

C393z

X-399

23/IV-79

8 - 12120

Р.Херцог, В.А.Малюк

1598/2-79

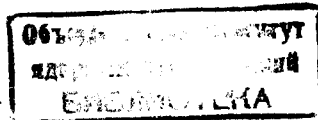
ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
МНОГОЖИЛЬНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ
В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ
В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР ОТ 4 ДО 25 К
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ДО 7 Т

1979

8 - 12120

Р.Херцог, В.А.Малюк

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
МНОГОЖИЛЬНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ
В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ
В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР ОТ 4 ДО 25 К
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ДО 7 Т



Измерение теплопроводности многожильного сверхпроводящего кабеля в продольном направлении в области температур от 4 до 25 К в магнитном поле до 7 Т

Описываются экспериментальное устройство и методика измерения теплопроводности сверхпроводящих кабелей в магнитном поле. Теплопроводность измерялась стационарным методом. Разность температур по длине образца измерялась угольными термометрами "Аллен-Брэдли". Подробно описана методика калибровки термометров, позволившая исключить влияние чувствительности датчиков температуры к магнитному полю на результаты эксперимента. Ошибка измерения теплопроводности составляет 3-5%. Приведены результаты измерения теплопроводности многожильного сверхпроводящего кабеля в интервале температур от 4 до 25 К в магнитном поле до 7 Т в продольном направлении при параллельной и перпендикулярной ориентации магнитного поля. Результаты могут быть использованы при расчетах сверхпроводящих магнитов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Measurement of Thermal Conductivity of a Superconducting Cable in Longitudinal Direction within the 4-25 K Temperature Range in the Magnetic Field upto 7 T

The experimental device and method of measuring the thermal conductivity of superconducting cables in magnetic field are described. Thermal conductivity was measured by stationary method. The temperature difference along a specimen was measured by carbon resistors "Allen-Bradley". A method of calibrating a thermometers is described in detail. It allows one to eliminate from experimental results effect of magnetic field on thermometer sensitivity. Error of measuring the thermal conductivity is 3-5 percent. The results of measurements of thermal conductivity of superconducting cables within the 4-25 K temperature range in the magnetic field up to 7 T are given for longitudinal direction at parallel and perpendicular orientation of magnetic field. The results could be used for calculations of superconducting magnets.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В связи с теплофизическими исследованиями сверхпроводящих магнитов в Лаборатории высоких энергий были проведены измерения теплопроводности многожильного сверхпроводящего транспонированного кабеля при температурах 4-25 К в постоянном магнитном поле до 7 Т.

В этой статье приводятся результаты измерения теплопроводности кабеля в продольном направлении, которые могут быть использованы при расчетах магнитов, например, с косвенным охлаждением. Параметры кабеля приведены в табл. 1. На рис. 1 представлено схематическое изображение кабеля.

Таблица 1

Параметры сверхпроводящего кабеля

Размеры	мм	4x1
количество проволок		12
диаметр проволок	мм	0,5
количество сверхпроводящих нитей на проволоке		168
диаметр сверхпроводящих нитей	мкм	25
матрица проволок		медь
припой		сплав на основе индия
шаг транспозиции проволок	мм	20

Теплопроводность кабеля измерялась в продольном направлении при параллельной и перпендикулярной ориентации магнитного поля.

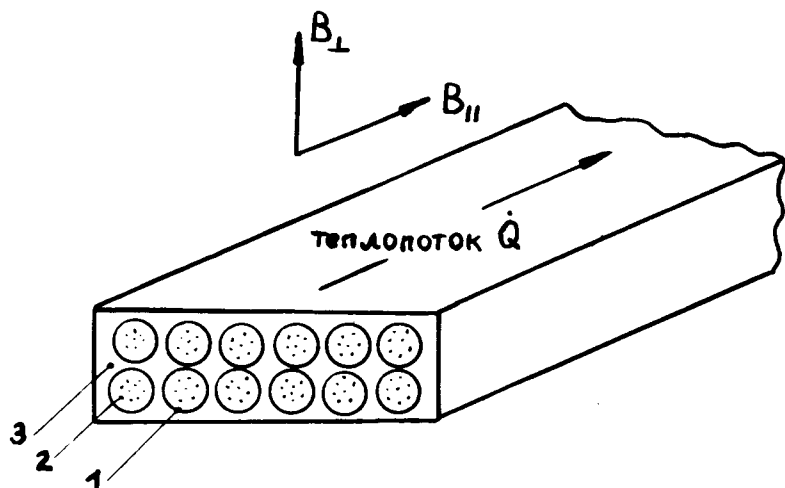


Рис.1. Схематическое изображение многожильного сверхпроводящего кабеля. 1 - медная матрица, 2 - сверхпроводящие нити из NbTi, 3 - припой.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Теплопроводность измерялась стационарным методом. Коэффициент теплопроводности рассчитывался по формуле

$$\lambda(T, B) = \frac{\dot{Q}}{G \cdot \Delta T},$$

где \dot{Q} - мощность нагревателя; G - геометрический фактор; ΔT - разность температур на образце.

Схематическое изображение экспериментального устройства показано на рис. 2. Образцы располагались внутри вакуумного кожуха измерительного штока, который был вставлен в отверстие сверхпроводящего соленоида/1/. Образцы имели тепловой контакт с ванной жидкого гелия через медный мост. Тепловой поток через образцы обеспечивался электрическим нагревателем. Мощность теплового

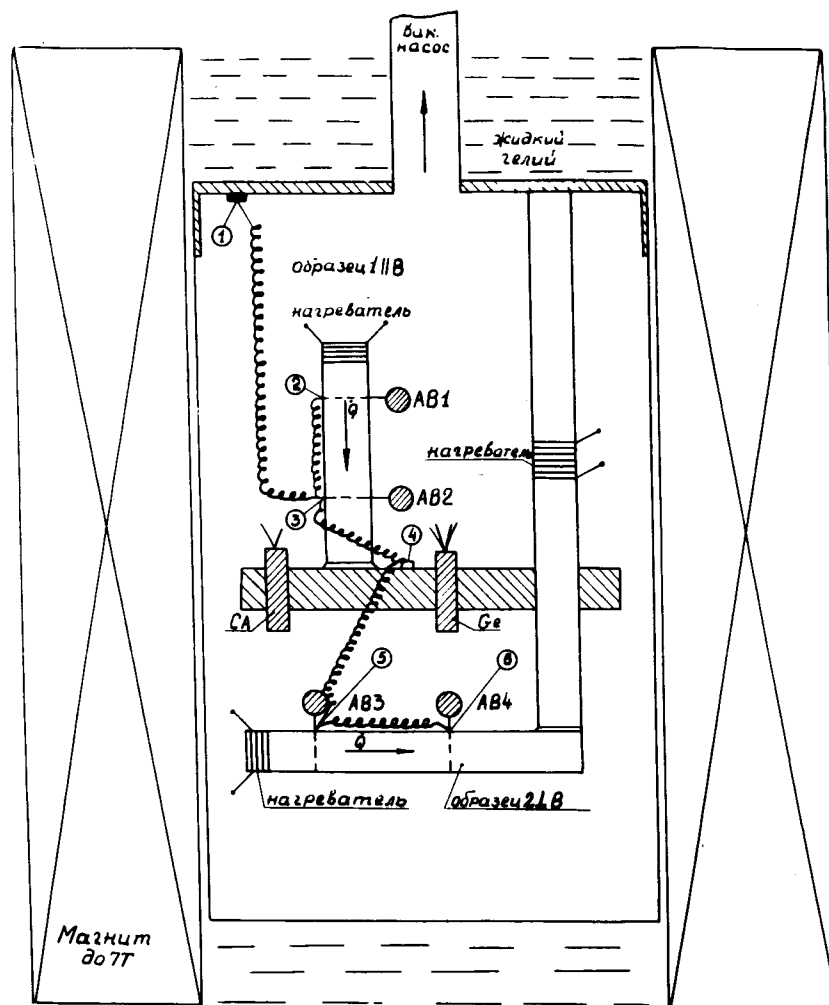


Рис.2. Экспериментальное устройство для измерения теплопроводности. АВ1-АВ4 - угольные датчики температуры; Ge - калиброванный германиевый термометр сопротивления; 1-6 - термометры для контроля температуры; СА - емкостный датчик температуры автоматического моста CSC - 400.

потока \dot{Q} определялась по измеренным значениям тока и падения напряжения на нагревателе.

Величина индукции магнитного поля B определялась по величине тока соленоида из кривой зависимости $B=f(I)$, полученной предварительно с использованием датчика Холла / I - ток в соленоиде/. Регулировка и поддержание температуры образцов на постоянном уровне осуществлялись с помощью автоматического моста CSC -400 фирмы Intermagnetic с емкостным датчиком из кристалла SrTiO_3 , который практически не чувствителен к магнитному полю до $15 \text{ Т} / 2/$.

Для измерения разности температур ΔT на образцах были установлены угольные сопротивления фирмы Allen-Bradley с номинальным сопротивлением 56 Ом , мощностью $0,125 \text{ Вт}$.

Для исключения влияния на результаты эксперимента чувствительности датчиков температуры к магнитному полю и изменения их калибровочной кривой при пайке капсулы с датчиком к образцу калибровка датчиков производилась после их установки на образцы непосредственно в штоке. С помощью емкостного моста CSC -400 устанавливалась постоянная температура образца, которая измерялась калибровочным германиевым термометром сопротивления ТСГ-1. При этой температуре измерялось сопротивление угольных термометров, установленных на образце, в отсутствие и при разных значениях магнитного поля. Затем температура образца уменьшалась на $\sim 0,2 \text{ К}$ и производились те же измерения. При измерении теплопроводности на нагревателе образца устанавливалась такая мощность, чтобы разность температур ΔT лежала в интервале калибровки / $\sim 0,2 \text{ К}$ /.

Измерения сопротивления угольных датчиков проводились по четырехпроводной схеме с использованием стабилизированного источника тока / 10 мкА / со стабильностью тока не хуже 10^{-5} и потенциометра Р349. Ошибка измерения теплопроводности по нашим оценкам составляет 3-5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Результаты измерений представлены в виде графиков на рис. 3. Из графиков видно, что с увеличением магнитно-

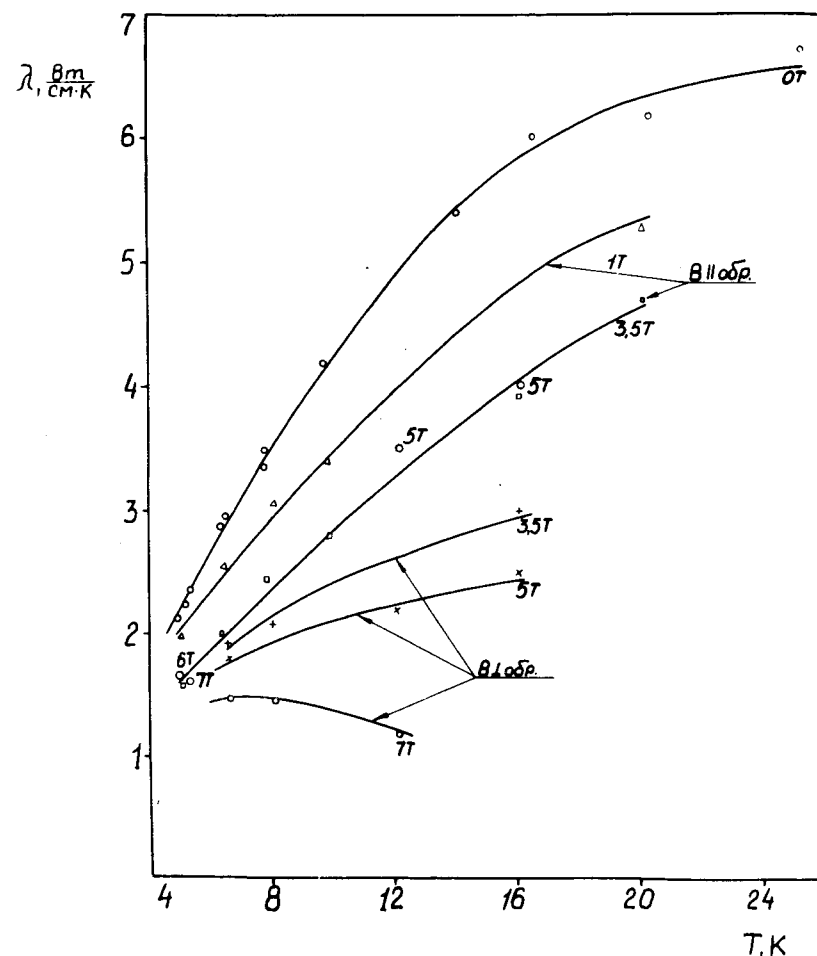


Рис.3. Зависимость теплопроводности многожильного сверхпроводящего кабеля от температуры при различных ориентациях магнитного поля относительно кабеля и различных значениях магнитного поля.

го поля теплопроводность сверхпроводящего кабеля уменьшается, причем на зависимость $\lambda(T, B)$ оказывает сильное влияние ориентация магнитного поля. На рис. 4 и в табл. 2 представлены данные по относительному измерению теплопроводности в магнитном поле. Видно, что для параллельной ориентации магнитного поля уменьшение λ

Таблица 2

Относительное изменение теплопроводности сверхпроводящего кабеля в магнитном поле в зависимости от температуры.

Температура	Относительное изменение $(\lambda_0 - \lambda_B) / \lambda_0, \%$				
	$B_{ }$	1 T	3,5 T	B_{\perp}	3,5 T 5 T 7 T
6 K		12	31	38	42 51
10 K		18	34	42	50
16 K		18	32	48	57

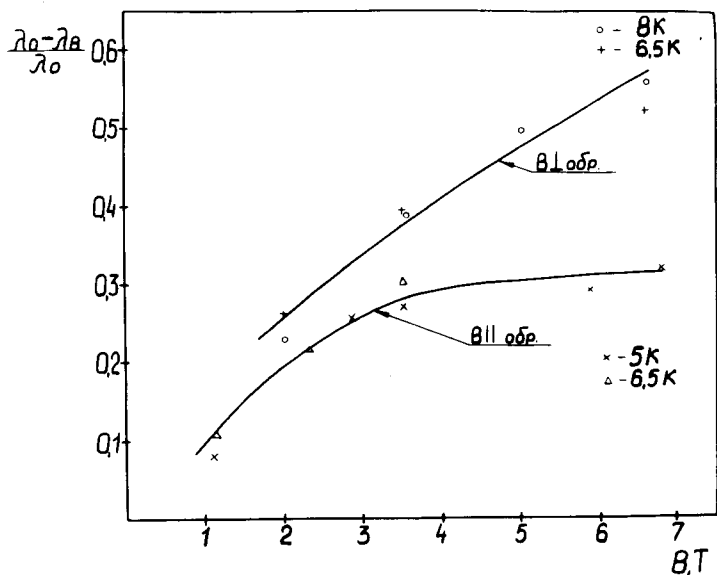


Рис.4. Зависимость относительного изменения теплопроводности сверхпроводящего кабеля в магнитном поле при различных ориентациях магнитного поля относительно кабеля.

прекращается при полях выше 3,5 T. При перпендикулярной ориентации λ уменьшается почти пропорционально магнитному полю.

Авторы благодарны Ф.Хованцу за помощь в работе и Е.И.Дьячкову за полезное обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chovanec F., Klábik V. Труды конференции "KRYOGENIKA -77" Издание CVTS VSTI/LABEM, 1974, с. 187. /на чешском языке/.
2. Sample H.H., Rubin L.G. Cryogenics, 1977, p.597.

Рукопись поступила в издательский отдел 22 декабря 1978 года.