

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

19
Г-65
7/1

2,3,

ЭЛЕ. ЧИТ. ЗАЛ



И.Н. Гончаров, И.И. Громова, Б.С. Неганов,
Л.Б. Парфенов

711

ЭЛЕКТРОМАГНИТ
СО СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОБМОТКОЙ

ТМЭ, 1961, №6, с.142.
Судогенес, 1962, №2, №6, с.363-364.

Дубна 1961

И.Н. Гончаров, И.И. Громова, Б.С. Неганов,
Л.Б. Парфенов

711

1068/9 чг.

ЭЛЕКТРОМАГНИТ
СО СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОБМОТКОЙ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Описываются конструкция и характеристики электромагнита с обмоткой из свинцовой проволоки. Приводится схема питания, позволяющая сохранять поле в зазоре магнита при выключенном источнике тока.

Электромагнит был изготовлен и испытан с целью использования его для управления работой "тепловых ключей" в циклической холодильной установке для получения сверхнизких температур методом адиабатического размагничивания парамагнитной соли.

В качестве материала обмотки была выбрана проволока прямоугольного сечения, изготовленная из технического свинца, имеющего достаточно высокое критическое поле $H_{кр.}(4,2^{\circ}) \sim 500$ э и $H_{кр.}(1,5^{\circ}) \sim 800$ э/. Для такой проволоки, имеющей поперечное сечение $0,5 \times 0,15$ мм², критический ток был не менее 10 а при $T=4,2^{\circ}K^{x/}$. Проволока длиной до 10 м вырезалась из свинца, прокатанного в длинную ленту нужной толщины. Для этого использовался резак, состоящий из двух стальных дисков с острыми краями, расстояние между которыми регулировалось с помощью набора шайб. Обмотка наматывалась с принудительным шагом в $0,5$ мм^{xx/}. Слои изолировались друг от друга конденсаторной бумагой и заливались клеем БФ-2 для создания теплового контакта с ярмом.

Конструкция магнита показана на рис. 1. Форма ярма была выбрана цилиндрической, потому что при такой форме тепловой ключ, помещенный между полюсами магнита, надежно экранируется ярмом от внешних рассеянных полей. Кроме того, в этом случае сама обмотка находится в оптимальных условиях с точки зрения разрушения сверхпроводимости рассеянными полями. Диаметры полюса и полюсных наконечников равны соответственно 8 мм и 14 мм, ширина зазора между полюсами 3,2 мм. Все детали изготовлены из стали "армко". Были получены следующие значения напряженности магнитного поля, при которых разрушается сверхпроводимость обмотки /появляется разность потенциалов 0,05 мв/: при $N = 136$ витков - $H_{макс}/4,2^{\circ}/ = 1200$ э, $I_{кр}/4,2^{\circ}/ = 2,5$ а; при $N = 700$ витков - $H_{макс}/4,2^{\circ}/ = 2100$ э, $I_{кр}/4,2^{\circ}/ = 0,8$ а и $H_{макс}/1,5^{\circ}/ = 2800$ э, $I_{кр}/1,5^{\circ}/ = 1,2$ а. Измерения поля проводились с помощью катушки, помещенной между полюсами магнита и соединенной с милливеберметром

М19.

x/ Результаты измерения критического тока других материалов таковы: медная проволока диаметром 0,1 мм, облуженная свинцом - $I_{кр}/4,2^{\circ}/ = 1 \div 1,5$ а; проволока диаметром 0,3 мм из сплава Nb-Ta - $I_{кр}/4,2^{\circ}/ = 0,6$ а; проволока из Nb размером $0,15 \times 0,5$ мм² - $I_{кр.}/4,2^{\circ}/ = 3,1$ а и $I_{кр.}/1,5^{\circ}/ = 6,7$ а. По мнению автора работы /1/, также получившего невысокое значение критического тока для Nb, это обусловлено тем, что сверхпроводящий ток в Nb течет по тонким "нитям" внутри образца.
xx/ При необходимости проволока легко спаивается прикосновением паяльника к торцу сложенных вместе концов, причем применение кислоты практически не сказывается на сверхпроводящих свойствах обмотки.

Во время работы холодильной установки магниты должны оставаться включенными в течение многих часов, и поэтому протекание тока силой 0,5 - 0,7 а по подводимым проводам приводит к нежелательному выделению тепла. В связи с этим была разработана и испытана схема питания, позволяющая сохранять поле в зазоре магнита неизменным при выключенном источнике тока /рис. 3/. Параллельно электромагниту D включалась свинцовая перемычка ABC, выполненная в виде спирали, которая наматывалась на металлический стержень, имеющий тепловой контакт с ванной жидкого гелия. Сверху была намотана спираль нагревателя из константана. Когда нагреватель не включен, участок ABC находится в сверхпроводящем состоянии, и ток от внешнего источника идет практически целиком через него, в силу того, что сверхпроводящий ток распределяется обратно пропорционально индуктивностям параллельных цепей^{/2/}. При некотором токе в нагревателе участок ABC нагревается до температуры $T' < T_{кр}$. Этой температуре соответствует для данной перемычки вполне определенный критический ток, который автоматически устанавливается в перемычке^{/3/}, если $I_{кр}/T' < I_{внешн}$ /в противном случае, как было указано выше, ток идет целиком через перемычку/. При этом часть внешнего тока $I_{внешн} - I_{кр}(T') = I_{маг}$ потечет через магнит, создавая в зазоре поле $H' < H/I_{внешн}$. Лишь когда ток в нагревателе увеличится настолько, что перемычка нагреется до $T'' > T_{кр}$, весь ток от внешнего источника потечет через магнит, а поле достигнет максимального значения. Характерная зависимость напряженности поля в зазоре магнита от мощности, выделяющейся в нагревателе, представлена на рис.4.

После выключения нагревателя перемычка охлаждается до $T < T_{кр}$, но $I_{внешн}$ продолжает идти по-прежнему через магнит. Если теперь выключить источник тока, то в сверхпроводящей цепи ABCD установится циркулирующий ток $I_{маг} = I_{внешн}$, причем магнитное поле в зазоре сохраняет постоянную величину в течение сколь угодно большого времени, пока магнит остается охлажденным.

В случае необходимости уменьшить поле до некоторой определенной величины достаточно включить соответствующий ток нагревателя на время, необходимое для затухания тока в сверхпроводящей цепи до требуемого значения. Это время не может быть очень малым, т.к. возникающее в перемычке активное сопротивление близко к нулю. Время затухания зависит как от величины изменения

магнитного поля, так и от того насколько быстро после включения нагревателя в перемычке устанавливается требуемая температура. В нашем случае это время было порядка 5-30 сек.

Подбором теплового контакта между перемычкой и гелиевой ванной можно добиться того, что управление процессами в магните будет осуществляться при очень малой мощности, выделяемой в нагревателе. Однако, в случае слишком плохого контакта, тепло, выделяющееся при затухании циркулирующего тока, может привести к сильному неконтролируемому нагреву перемычки, в результате чего ток в замкнутой цепи ABCD прекратится совсем.

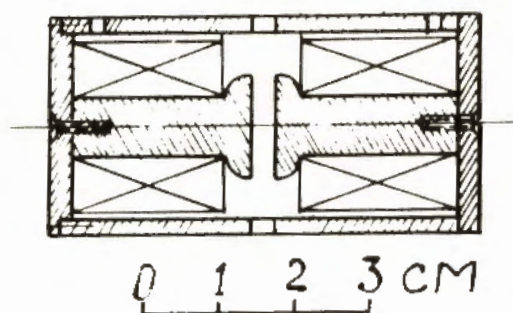
Время, в течение которого обмотка магнита принимала гелиевую температуру в условиях высокого вакуума, не превышало 30 мин.

В заключение пользуемся случаем выразить признательность В.М. Дробину, изготовившему магниты и помогавшему в некоторых измерениях.

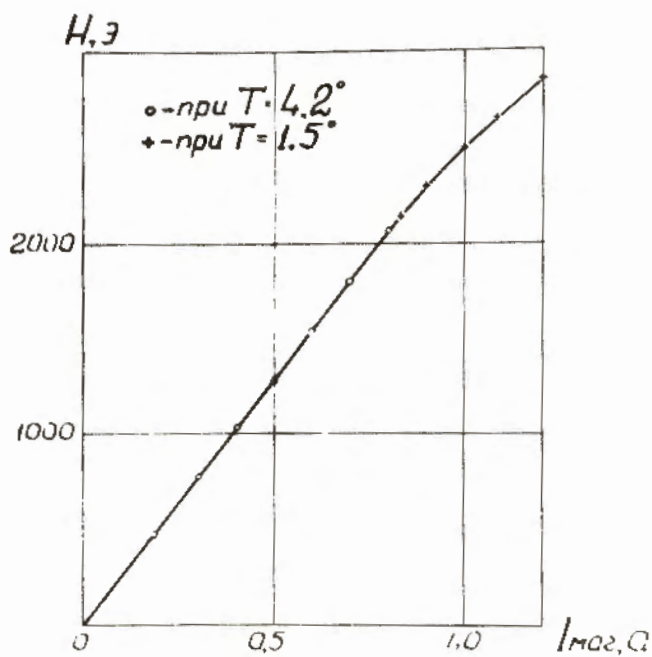
Л и т е р а т у р а

1. S.H. Autler. Rev. Scient. Instrum., 31, 369 1960.
2. D.R. Young. Progress in Cryogenics, 1, 3 1959, London.
3. Д. Шенберг. Сверхпроводимость, Издательство инстр. лит. 1955.

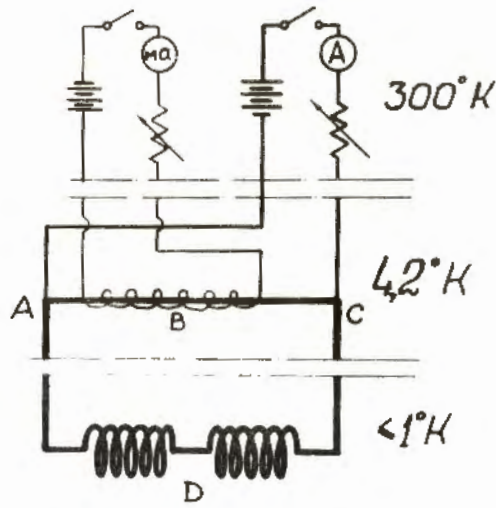
Рукопись поступила в издательский
отдел 31 марта 1961 г.



Р и с. 1. Конструкция электромагнита.

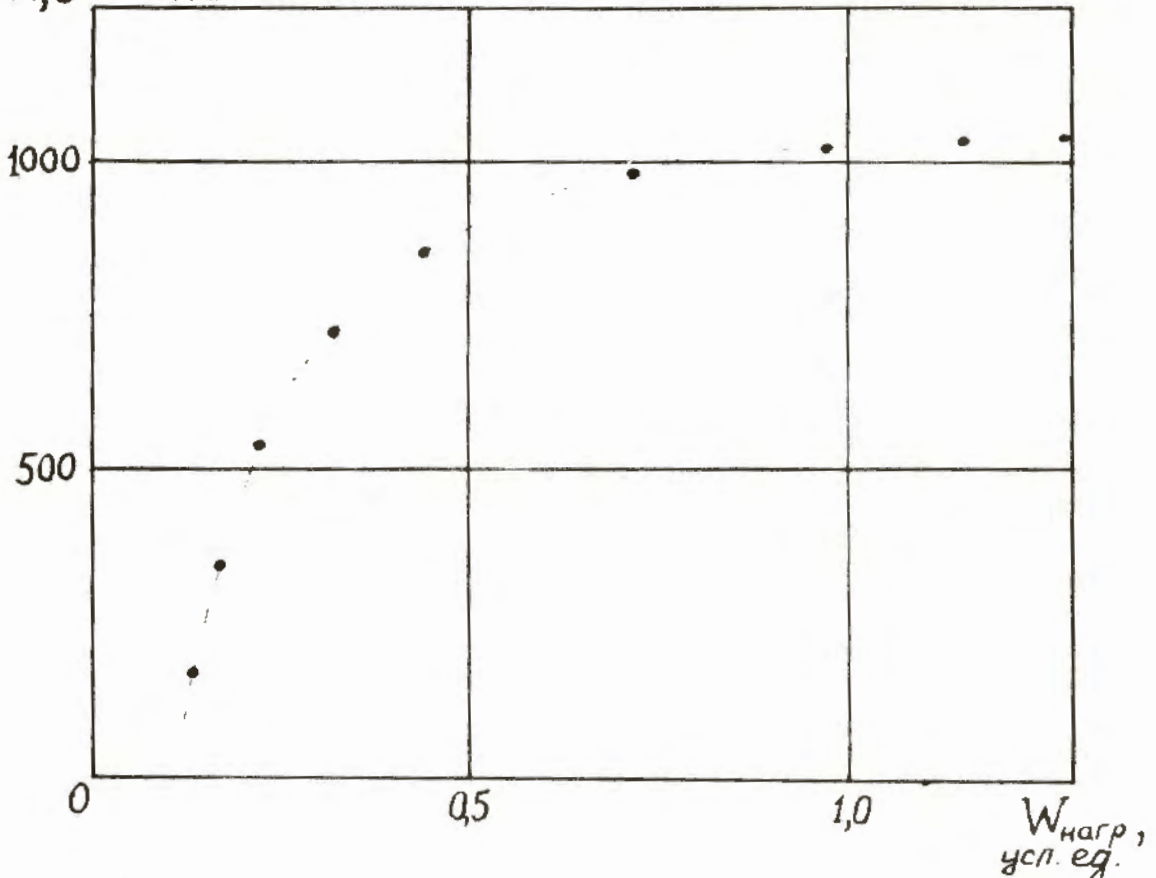


Р и с. 2. Зависимость напряженности поля в зазоре электромагнита от сверхпроводящего тока в обмотке.



Р и с. 3. Схема питания электромагнита.

$$H, \text{э} \sim I_{\text{маг}}$$



Р и с. 4. Зависимость напряженности поля в зазоре магнита при постоянном внешнем токе от мощности, выделяющейся в нагревателе