

УДК 537.312.62:621.318.3

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик АН УССР Б. Г. ЛАЗАРЕВ, Л. С. ЛАЗАРЕВА, В. А. ПОЛТАВЕЦ

О ПОЛУЧЕНИИ ОДНОРОДНОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЛЕНОИДАХ ПРИ ПОМОЩИ ЭКРАНА ИЗ СВЕРХПРОВОДНИКА С ВЫСОКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Сверхпроводящие лабораторные соленоиды с $H = 5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$ э получают все большее распространение, обеспечивая многие исследования, не требующие больших объемов поля, и в тех случаях, когда необходима высокая однородность поля: соленоид удлиняется, обмотка делается профилированной по длине, на концах соленоида устанавливаются дополнительные, выравнивающие поля, катушки ⁽¹⁾. Однако это существенно усложняет изготовление и использование соленоидов, делает их громоздкими.

В настоящем сообщении кратко излагаются результаты нашего применения сверхпроводящего экрана — вставки из Nb_3Sn , создающей в коротком сверхпроводящем соленоиде (обычной намотки) область большой однородности значительной протяженности.

Известно применение сверхпроводящего экрана для повышения однородности слабых полей (до 4100 э) в межполюсном пространстве небольших электромагнитов со сверхпроводящей обмоткой ⁽²⁾ и поэтому полученные результаты, по-видимому, представляют более общий интерес.

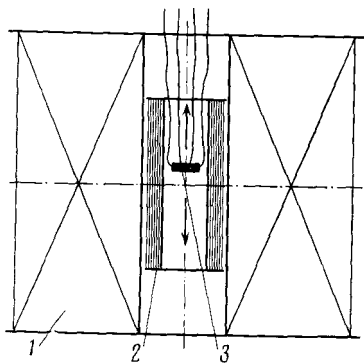


Рис. 1. Схема устройства для выравнивания поля вдоль оси соленоида: 1 — сверхпроводящий соленоид, 2 — вставка-экран, 3 — измеритель поля

Исследование устройства проведено на соленоиде из проволоки сплава $Nb - 60 \text{ ат. \% } Ti$ в интервале полей $\sim (5000 - 55000)$ э. Размеры соленоида: длина 70 мм, диаметр отверстия 20 мм, внешний диаметр 80 мм. При таких размерах соленоида у него по существу нет участка однородного поля вдоль оси, а вблизи максимума поля оно меняется на 0,1% на протяжении ~ 4 мм.

Экран был сделан из Nb_3Sn , как из удобного материала с критическими параметрами, существенно превышающими таковые для проволоки, из которой изготовлен соленоид. Экран имеет вид цилиндрической вставки (разрезанной вдоль образующей), располагаемой симметрично относительно его центра (рис. 1); на полосу конденсаторной бумаги шириной 40 мм наклеены поперек плоскости ленты из Nb_3Sn , между полосками оставлены узкие зазоры; такая лента наматывается на оправку из оргстекла диаметром 11 мм, число слоев в испытаниях было 27, 50 и 72. Используемая лента Nb_3Sn (на плетеной основе) имела ширину 10 мм, толщину $\sim 30 \mu$, ее критический ток был ~ 250 а в поле $6 \cdot 10^4$ э.

Nb_3Sn — типичный жесткий сверхпроводник с очень малым полем проникновения (~ 500 э) ⁽³⁾. Тонкая пластинка сверхпроводника, располо-

женная вдоль линии поля, как известно, не искажает его. При появлении составляющей поля, перпендикулярной пластинке, в ней возникнут токи, компенсирующие это поле, что и происходит в соленоиде малой длины: лишь в центре соленоида поле параллельно экрану, а по мере удаления к краям появляется и нарастает перпендикулярная экрану составляющая поля ($H_{\perp} = \sqrt{\Delta H \cdot H}$, ΔH — требуемая однородность по оси, H — поле соленоида). Компенсирующее действие ограничено величиной критического

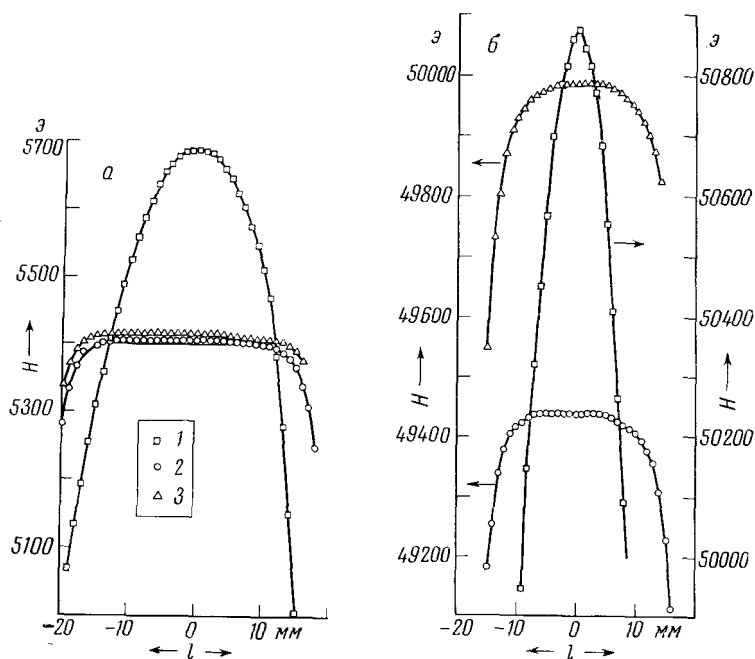


Рис. 2. Выравнивающее действие вставки-экрана при $H \sim 5700$ (а) и 50000 э (б): 1 — без сверхпроводящего экрана, 2 — экран с 72 слоями, 3 — экран с 27 слоями

тока в экране. Критический ток по мере роста поля соленоида падает и, в основном в силу этого, будет уменьшаться эффективность экрана, что проявится в уменьшении области однородности.

На рис. 2 представлено изменение напряженности H магнитного поля соленоида вдоль оси соленоида в районе его центра, измеренное без экрана (1) и с экраном (2, 3) при $H \sim 5700$ и $\sim 50\,000$ э. Аналогичные же зависимости получены при полях $\sim 14\,000$ и $25\,000$ э.

Выравнивающее действие экрана отчетливо выражено. Действительно; для 72 слоев даже при поле $\sim 50\,000$ э (рис. 2б) появляется область однородного поля — на длине 10 мм $\Delta H/H \leq 10^{-4}$ ($\Delta H \leq 1$ э), при поле ~ 5700 э однородность с $\Delta H \leq 1$ э сохраняется на длине >15 мм. При 27-слойном экране область однородности при 5700 э остается практически такой же, как при 72 слоях, а с ростом поля заметно уменьшается и при $50\,000$ э $\Delta H/H \leq 10^{-4}$ сохраняется на протяжении 4 мм.

Область однородности с ростом H уменьшается и, как уже отмечено, основной причиной этого является уменьшение критического тока Nb_3Sn с уменьшением H .

Эффективность экрана значительно повышается при повышении исходной однородности поля. Измерения проведены при помощи датчика Холла из арсенида индия, ранее подробно исследованного (⁴).

Из рис. 2 видно, что экранирующая вставка несколько снижает напряженность магнитного поля соленоида; это снижение составляет ~ 300 э при поле 5700 э и ~ 1400 э при поле $\sim 50\,000$ э.

Приведенные результаты получены при повышающихся значениях напряженности поля (5700, 14 000, 25 000 и 50 000 э); повторные измерения при снижении H показали сохранение выравнивающего действия экрана, однако появляется гистерезис, несколько изменяющий поле в области однородности.

Все измерения H проведены с точностью ~ 1 э благодаря использованию компенсационных схем для измерения тока в соленоиде и напряженности поля.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
10 IX 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Е. Алексеевский, Е. П. Красноперов, ДАН, **190**, № 6, 1325 (1970); R. J. Higgins, Y. K. Chang, Rev. Sci. Instr., **39**, № 4, 522 (1968); Хиггинс, Чанг, Приборы для научных исследований, **39**, 4, 82 (1968). ² М. И. Бычкова, Н. Д. Козлова и др., Проблемы сверхпроводящих материалов, Тр. V Всесоюз. совещ. по физико-химии, металлосведению и металлофизике сверхпроводников, «Наука», 1970, стр. 166. ³ Б. Г. Лазарев, О. Н. Овчаренко, А. А. Мацакова, Металловедение, физико-химия и металлофизика сверхпроводников, Тр. II и III совещ. по металлосведению, физико-химии и металлофизике сверхпроводников, «Наука», 1967, стр. 76. ⁴ Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева и др., ДАН, **181**, 581 (1962).