

## БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В НЕГОМОГЕННЫХ СРЕДАХ

*Е. К. Завойский*

В работе кратко описывается чувствительный метод поиска высокотемпературной сверхпроводимости. Метод позволяет исследовать появление сверхпроводимости в микрообластях с характерным размером до  $10^{-4}$  см в образцах объемом  $\sim 1$  см<sup>3</sup>, приготовленных по специальной программе ЭВМ, обеспечивающей широкий спектр физических свойств в отдельных участках препарата.

Метод основан на известном фундаментальном свойстве сверхпроводников "замораживать" магнитный поток в полости, пронизывающей сверхпроводник. Для измерения замороженного магнитного потока предлагается использовать наблюдение вращения образца, закрепленного на достаточно тонком подвесе, при смене знака однородного магнитного поля. В этих условиях момент вращения зависит только от величины замороженного потока и не зависит от магнитной восприимчивости и массы препарата.

Обозначая силу сверхпроводящего тока вокруг полости через  $J$ , находим крутильный момент  $M$  в поле  $H$

$$M = \int J H r dl ,$$

где  $r$  — характерный размер полости,  $dl$  — элемент длины. Допуская, что при переходе в сверхпроводящее состояние магнитный поток в полости сохраняет свое значение, находим

$$M \approx H^2 r^3 \quad (1)$$

с точностью коэффициента порядка единицы. В (1) минимальное значение  $r$  определяется моментом силы  $M_0$ , действующим на образец за счет конечной величины неоднородности магнитного поля, образца и несимметрии его относительно оси вращения. Этот момент равен

$$M_0 = \int_V \chi(x, y, z) H R \nabla H dm , \quad (2)$$

где  $\chi$  — локальная магнитная восприимчивость массы  $dm$ ,  $R$  — расстояние  $dm$  от оси вращения,  $\nabla H$  — градиент магнитного поля,  $V$  — объем образца в котором ведется интегрирование. Из (2) следует, что в строго однородном магнитном поле момент силы равен нулю. Проводя вертикальную плоскость через ось вращения образца и магнитное поле  $H$ , из (1) и (2) находим при условии, что  $\nabla H$  мало и одинаково во всем объеме образца

$$\frac{M_0}{M} \approx \frac{\overline{\chi m R} \nabla H}{H r^3} ,$$

где  $\overline{\chi m R} = \int_1 \chi R dm - \int_2 \chi R dm$ , а интегралы взяты по правой и левой сторонам относительно плоскости. Таким образом,  $M_0 \neq 0$  только для несимметричных образцов. Так, для примера, допуская, что одна из сторон образца содержит дефект — пустую полость радиуса  $a$ , находим

$$\frac{M_0}{M} \approx \frac{4\pi\rho a^3 \chi R \nabla H}{3Hr^3} ,$$

где  $\rho$  — плотность образца. Для оценки положим  $a = 0,05$  см,  $\rho = 1$ ,  $R = 0,5$  см,  $\chi = 10^{-5}$  и  $\nabla H/H = 10^{-4}$ , находим  $M_0/M \approx 10^{-12} r^{-3}$  и при  $M_0 = M$  получаем  $r \approx 10^{-4}$  см. Эта оценка показывает, что даже относительно большая неоднородность образца несущественно сказывается на чувствительности метода. Заметим, что даже идеально симметричный образец при  $\nabla H \neq 0$  будет смещаться в область более сильного или слабого магнитного поля в зависимости от знака магнитной восприимчивости. Однако это смещение незначительно.

Так как торсионный метод вообще очень чувствителен к ферромагнитным загрязнениям образца, то необходимо избегать их.

В идеальном случае, данные, введенные в ЭВМ для набора выбранных веществ, должны привести к построению такой модели структуры, в которой любое изменение параметров (например, температуры, давления, растворения и пр.) будет давать вполне известные сочетания веществ

в любой ячейке  $V_0 \approx r^3$  образца. Практически не всегда известны свойства исходных веществ и их сочетаний, поэтому реально в эксперименте будут области неопределенные по составу и параметрам. Но сколько бы не был велик процент таких областей, задача нахождения условий образования сверхпроводящих участков может быть решена в относительно небольшом числе экспериментов, например, таких: 1) изменением главных параметров достигается максимальный эффект; 2) устанавливается воспроизводимость результата, 3) исключением одного или ряда веществ находятся те, которым обязана сверхпроводимость и 4) с помощью ЭВМ осуществляется переход к экспериментам со все более крупными структурными элементами и, наконец, готовится моноструктурный образец.

Интересно отметить, что не всегда нужна полная идентификация условий образования сверхпроводимости, так как опыт позволяет непосредственно определить такие важные параметры как критическую температуру и критические магнитные поля. Поэтому, если окажется, что эти параметры не соответствуют требованиям техники, то исследование может быть отложено.

Все вопросы более подробно будут обсуждаться в следующей работе.

Поступила в редакцию  
9 сентября 1976 г.

---