

ИЗМЕРЕНИЕ μ^+ МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ СВИНЦЕ

*В. Г. Гребинник, И. И. Гуревич, В. А. Жуков, Л. А. Левина,
А. Б. Лазарев, В. Н. Майоров, А. П. Маныч,
Б. А. Никольский, В. И. Селиванов, В. А. Суетин.*

Измерены магнитные поля на μ^+ -мезоне в сверхпроводящем свинцовом эллипсоиде при $T = 4,3\text{К}$. Показано, что в промежуточном сверхпроводящем состоянии внутренние магнитные поля в нормальных областях образца не зависят от внешнего магнитного поля и равны критическому полю $H_c(T)$.

Наблюдение прецессии спина μ^+ -мезона в сверхпроводниках представляет собой новый метод изучения сверхпроводящего состояния метал-

ла. Этим методом можно измерять внутренние магнитные поля в сверхпроводниках первого и второго рода, а также некоторые параметры, характеризующие сверхпроводящее состояние [1 – 3]. В данной работе исследуются магнитные поля в сверхпроводнике первого рода – свинце, в зависимости от внешнего магнитного поля. Работа была выполнена на синхроциклотроне ОИЯИ.

Внешнее магнитное поле H частично проникает в сверхпроводник первого рода в так называемом промежуточном состоянии при $H_1 \leq H \leq H_c$, где $H_1 = H_c(1 - D)$, H_c – критическое магнитное поле, D – коэффициент размагничивания образца. В промежуточном состоянии весь объем сверхпроводника разбивается на мелкие нормальные и сверхпроводящие области. Предполагается, что в нормальных областях магнитное поле $B = H_c$, а в сверхпроводящих $B = 0$. Относительный объем η нормальных областей линейно возрастает с увеличением внешнего поля:

$$\eta = \frac{H - H_1}{DH_c} \quad (1)$$

Образование такого промежуточного состояния было теоретически постулировано еще в работах [4, 5] и было экспериментально обнаружено на поверхности сверхпроводника с помощью миниатюрных висмутовых зондов [6, 7] и методом порошкового декорирования [8, 9].

С помощью μ^+ -мезонов можно измерять магнитное поле в нормальных областях промежуточного состояния не на поверхности, а внутри металла, причем с высокой точностью. В этой работе μ^+ -методом измеряются магнитные поля в промежуточном состоянии свинца.

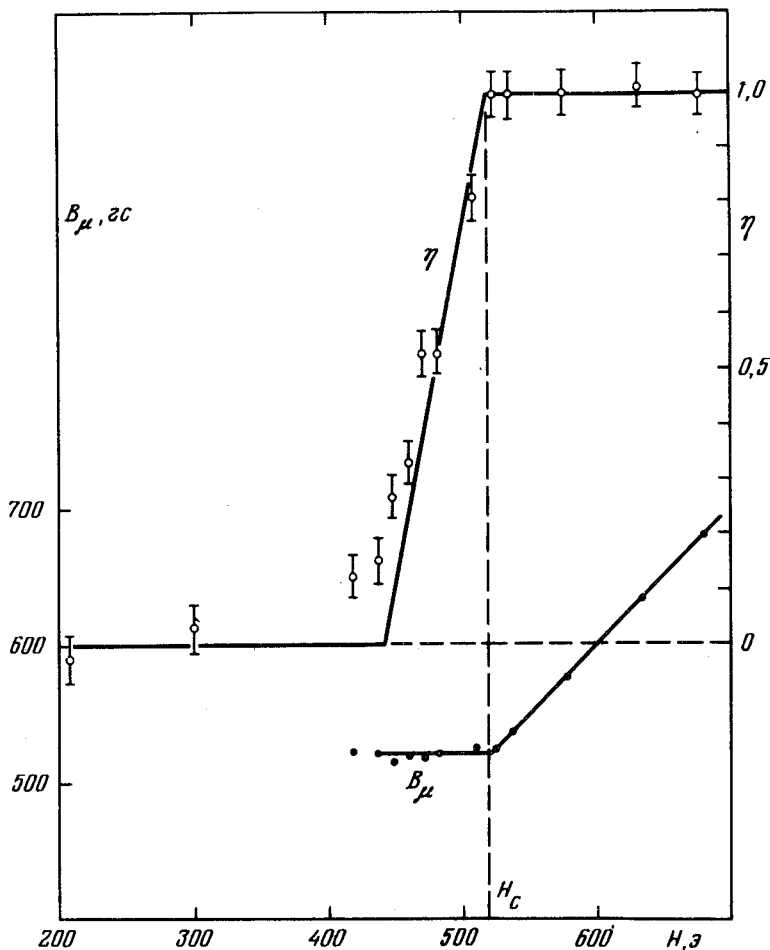
Исследуемый образец свинца представлял собой плоский эллипсоид вращения диаметром 60 мм и толщиной 15 мм, большая ось которого была направлена параллельно внешнему полю. Эксперимент проводился при температуре $T = (4,3 \pm 0,1) \text{ К}$. Приведенная ошибка δT представляет собой точность измерения температуры образца. Напряженность внешнего магнитного поля изменялась в пределах $H = 200 - 700 \text{ э}$. Соответствующее температуре $T = (4,3 \pm 0,1) \text{ К}$ критическое поле H_c было равно $H_c = H_c(0)[1 - (T/T_c)^2] = (521 \pm 12) \text{ э}$, где $H_c(0) = 808 \text{ э}$ – критическое поле для свинца при $T = 0$, а $T_c = 7,2 \text{ К}$ – критическая температура. Исследуемому эллипсоиду отвечает размагничивающий фактор $D = 0,15$ и, следовательно, поле $H_1 = H_c(1 - D) = 442 \pm 10 \text{ э}$.

Прецессия спина остановившихся в свинце μ^+ -мезонов описывалась формулой

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau} [1 - a e^{-\Lambda t} \cos \omega t] \quad (2)$$

Здесь $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6}$ сек – время жизни μ^+ -мезона; a – экспериментальный коэффициент асимметрии углового распределения позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ распада; Λ – скорость релаксации спина μ^+ -мезона; $\omega = \frac{e}{mc} B_\mu$ – ларморовская частота прецессии спина μ^+ -мезона в поле B_μ . Параметры N_0 , a , Λ и ω определялись методом максимального правдоподобия при сопоставлении выражения (2) и экспериментальных зависимостей $N_{\text{экс}}(t)$. Полученные таким образом величины a и ω для различных значений H позволяют определить экспериментальные зависимости

$\eta(H)$ и $B_\mu(H)$. Относительный объем η нормальной фазы определялся из соотношения $\eta = a/a_{max}$, где a_{max} — значение коэффициента a при $H > H_c$, т. е. в нормальном состоянии образца. Магнитное поле B_μ определяется частотой прецессии спина μ^+ -мезона $\omega = e/mc B_\mu$, где m — масса μ^+ -мезона.



Экспериментальные зависимости $\eta(H)$ и $B_\mu(H)$ в свинце при $T = 4,3\text{К}$. Сплошные линии представляют собой соответствующие теоретические зависимости для данного образца при $H_c = 520$ э.

Экспериментальные зависимости $\eta(H)$ и $B_\mu(H)$ для свинца приведены на рисунке. Из этого рисунка видно, что при $H > H_c$, т. е. для образца в нормальном состоянии, поле B_μ на μ^+ -мезоне равно внешнему полю H . В промежуточном состоянии $H_1 \leq H \leq H_c$ поле в нормальных областях $B_\mu = H_c$ и не зависит от H . Существенно отметить, что поле B_μ в нормальных областях промежуточного состояния практически однородно. Неоднородность поля B_μ характеризует величина Λ (см. (1)), которая в данных экспериментах не превышала значения $\Lambda \approx 0,2$ мсек $^{-1}$. Получающаяся отсюда степень неоднородности поля B_μ составляет $\delta B_\mu / B_\mu \lesssim 1\%$.

Экспериментальная зависимость $\eta(H)$ в промежуточном состоянии близка к линейной и удовлетворительно описывается теоретическим выражением (1) при $H_c = 520$ э. Некоторое отличие экспериментальных значений η от линейной зависимости (1) при полях H , близких к H_1 , возможно, объясняется незначительным отклонением образца от строго эллипсоидальной формы. При $H < H_c$, $\eta = 0$, как это и должно быть, так как при этих полях нормальная фаза в сверхпроводнике первого рода отсутствует.

Авторы благодарны В.П.Джелепову за предоставленную возможность выполнить эту работу на синхроциклотроне ОИЯИ, А.В.Пирогову, А.Н.Пономареву, В.С.Роганову за помощь в работе.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
2 декабря 1978 г.

Литература

- [1] D.E.Murnick. *Physica Scripta*, 11, 140, 1975.
- [2] В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, В.А.Жуков, А.Б.Лазарев, Л.А.Левина, В.Н.Майоров, А.П.Маныч, Е.В.Мельников, Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. *Письма в ЖЭТФ*, 28, 397, 1978.
- [3] M.Gladisch, D.Herlach, H.Mets, H.Orth, G. Zn. Putlitz, A. Seeger, H.Teichler, W.Wahl, M.Wigand. Доклад на Первой международной тематической конференции по μSR методу. Роршах, Швейцария, сентябрь 1978.
- [4] R.Peierls. *Proc. Roy. Soc.*, A155, 613, 1936.
- [5] F. London. *Physica*, 3, 450, 1936; Л.Д.Ландау. *ЖЭТФ*, 7, 371, 1937.
- [6] А.Г.Мешковский, А.И.Шальников. *ЖЭТФ*, 17, 851, 1947.
- [7] B.G.Silbernagel, M.Weger, I.H.Wermick. *Phys. Rev. Lett.*, 17, 384, 1966.
- [8] T.E.Faber. *Proc. Roy. Soc.* A248, 460, 1958; А.И.Шальников, К.А.Туманов. *Сб., посв. 70-летию акад. А.Ф.Иоффе*, изд.-во АН СССР, 303, 1950; Б.М.Балашова, Ю.В.Шарвин. *ЖЭТФ*, 31, 40, 1956.
- [9] R.W.Shaw, D.E.Mapother. *Phys. Rev.* 118, 1474, 1960.