

ПИННИНГ И НИЖНЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$

*А. В. Безрядин, В. Н. Копылов, В. М. Краснов,
В. А. Ларкин, В. В. Рязанов, Т. Г. Тогоидзе¹⁾,
И. Ф. Щеголев*

Двумя различными методами измерены магнитные характеристики сверхпроводящих монокристаллов $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$. Аномальное поведение температурной зависимости магнитного поля проникновения связывается с резким изменением пиннинга магнитного потока при температурах в области 40 К.

Для определения нижнего критического поля H_{c1} монокристаллов $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ с $T_c = 115$ К были проведены две серии измерений магнитного момента M в поле $H \perp ab$. В одной вибрационным магнитометром измерялись зависимости $M(H)$ при $T = \text{const}$ при развертке поля от 0 до 33 кГс и обратно за времена порядка 30–40 мин. В другой сквидовским магнитометром измерялись зависимости $M(T)$ при $H = \text{const}$ при отогреве образцов, предварительно охлажденных до 10 К в нулевом поле.

На рис. 1. приведены примеры зависимостей $M(H)$ для одного из монокристаллов. Необратимое поведение намагниченности, проявляющееся в гистерезисе и остаточном захваченном потоке, наблюдается, вообще говоря, при всех температурах. Однако выше 40–50 К необратимость невелика и заметна только в области слабых магнитных полей. При этом на прямых ходах $M(H)$ имеются явно выраженные минимумы, связанные с началом проникновения в образец магнитного потока. Ниже 40 К вид кривых $M(H)$ свидетельствует о проявлении сильного пиннинга. На рис. 2 приведены зависимости $M(T)$ для другого образца той же серии. При увеличении поля переход сначала заметно уширяется, и его низкотемпературный край сильно смещается в сторону меньших температур. Однако в полях $H \geq 600$ Гс эти изменения фактически прекращаются.

Определение величины поля $H_{пр}$ начала проникновения потока в образец при данной температуре (или температуре $T_{пр}$ начала проникновения потока в данном поле) осложняется размытостью начала перехода, связанной с несовершенством формы и неидеальностью каче-

¹⁾ Тбилисский госуниверситет, физический факультет.

ства образцов. В таких условиях момент начала проникновения гораздо отчетливее проявляется на зависимостях \sqrt{B} от H , чем на кривых $M(H)$ или $B(H)$. Примеры таких зависимостей представлены на рис. 1, а полученные таким образом зависимости $H_{пр}(T)$, учитывающие значение размагничивающего фактора образца $D = 0,8$ (рис. 3).

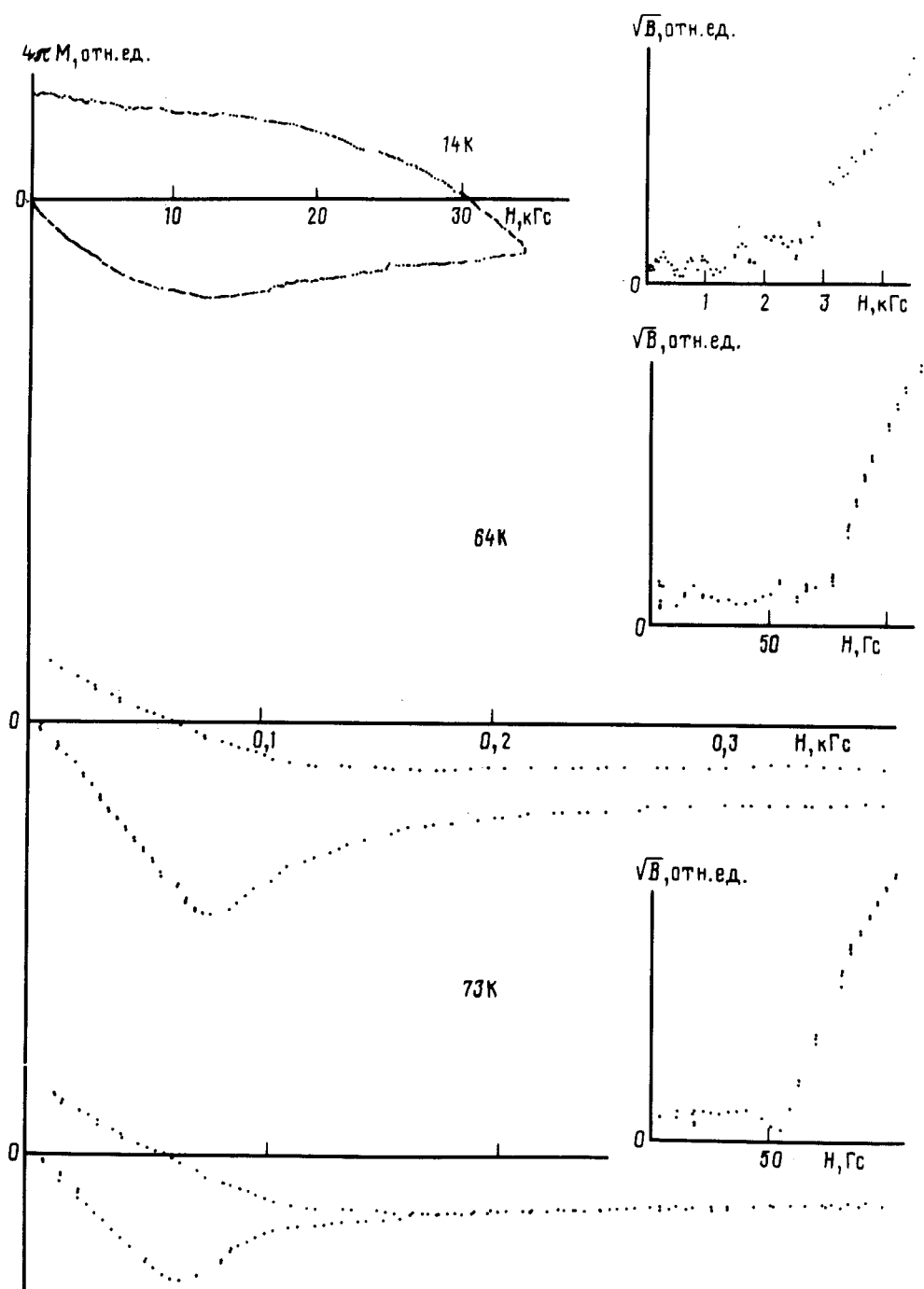


Рис. 1. Зависимости магнитного момента и \sqrt{B} (на вставках) монокристалла $Tl_2Ba_2CaCu_3O_x$ ($1 \times 1 \times 0,14$ мм) от внешнего магнитного поля при температурах, указанных у кривых. $H \parallel c$

В области $T \geq 50$ К величины $H_{\text{пр}}$ в пределах $\pm 5\%$ совпадают с положениями минимумов на кривых $M(H)$ и в пределах $\pm 10\%$ согласуются со значениями, которые можно тем или иным способом определить из кривых $M(T)$ ¹. Учитывая почти обратимое поведение намагниченности в этой области температур, мы можем считать эти величины $H_{\text{пр}}$ значениями нижнего критического поля H_{c1} .

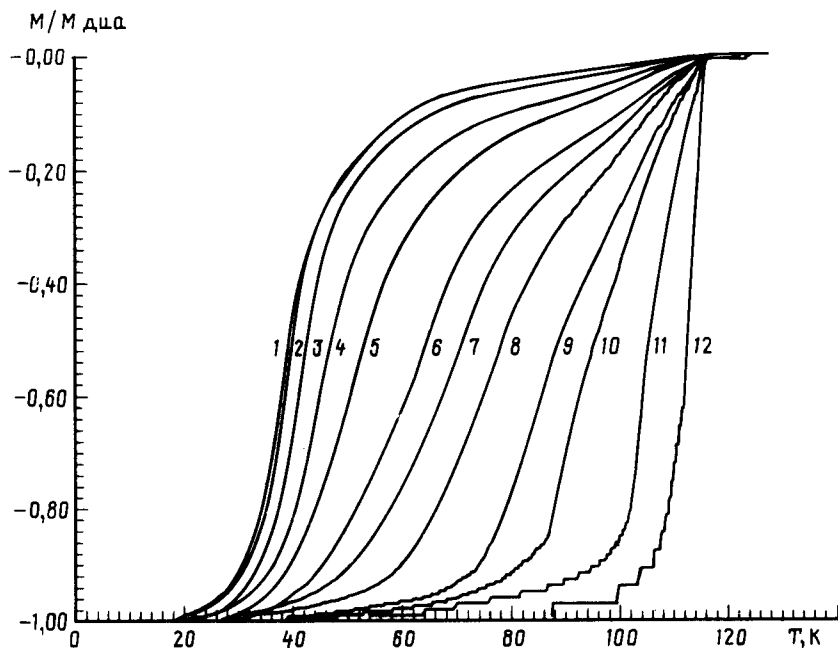


Рис. 2. Температурные зависимости магнитного момента монокристалла $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_3\text{O}_x$ ($1,14 \times 0,52 \times 0,14$ мм) при различных значениях внешнего поля: 1 – 766, 2 – 692, 3 – 572, 4 – 409, 5 – 269, 6 – 209, 7 – 173, 8 – 125, 9 – 94, 10 – 73, 11 – 39, 12 – 13 Гс.

Ниже 40–50 К величина $H_{\text{пр}}$ начинает быстро возрастать с понижением температуры (см. вставку на рис. 3). Качественно такое поведение видно также из кривых $M(T)$ на рис. 2, которые при низких температурах почти не смещаются при увеличении поля. Этот резкий рост связан, скорее всего, с заметным усилением пиннинга и вряд ли отражает температурное поведение поля H_{c1} . По-видимому, та же причина обуславливает обнаруженный в² быстрый рост поля $H_{\text{пр}}$ в монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ниже 30 К.

Выше 50 К зависимость $H_{c1}(T)$ оказывается линейной. Это согласуется с результатами измерений в других высокотемпературных^{1,2} и низкотемпературных³ слоистых сверхпроводниках и плохо следует предсказаниям теории БКШ (пунктирная кривая на рис. 3). Экстраполяция к $T = 0$ дает значения $H_{c1}(0)$ в пределах между 0,5 и 0,8 кГс и соответствующие значения $\lambda = 0,08\text{--}0,1$ мкм. Отчетливые проявления резкого уменьшения пиннинга вихревой решетки с повышением T в монокристаллах $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ и $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ наблюдалось экспериментально в⁴ по измерениям добротности и сдвига частоты механического резонатора, соответственно вблизи 30 и 80 К. В этой работе упоминается также о наблюдении "плавления" вихревой решетки в таллиевых монокристаллах при температуре вблизи 40 К. Эта температура хорошо согласуется с наблюдаемой нами температурой $\sim 40\text{--}50$ К, при которой резко изменяется сила пиннинга.

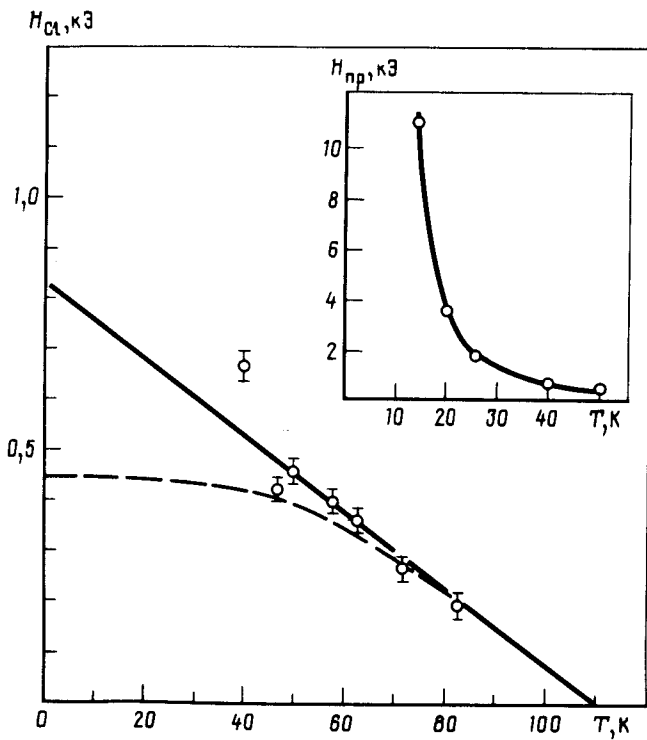


Рис. 3. Зависимости поля начала проникновения потока от температуры (результаты вибрационных измерений). Пунктиром показана зависимость $H_{c1}(T)$ по теории БКШ в чистом пределе

Экспериментальные данные показывают, что существование довольно определенной температуры депиннинга, по-видимому, является общим свойством всех ВТСП. Возможные причины этого явления обсуждаются в ⁵⁻⁷, однако выбор конкретных механизмов депиннинга требует проведения дополнительных экспериментов.

Авторы выражают благодарность Б.И.Ивлеву за полезное обсуждение.

Литература

1. Карцовник М.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 595.
2. Ishii T., Yamada T. Physica C, 1989, 159, 483.
3. Пальниченко А.В. Канд. дисс., Черноголовка, 1989.
4. Gammel P.L. et al. Phys. Rev. Lett., 1988, 61, 1666.
5. Nelson D.R., Seung H.S. Phys. Rev. B, 1989, 39, 9174.
6. Brandt E.H. Phys. Rev. Lett., 1989, 63, 1106.
7. Feigel'man M.V., Vinokur V.M. Preprint. Submitted to Phys. Rev. B, 1990.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 декабря 1989 г.