

НАБЛЮДЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО ДИА- И ПАРАМАГНЕТИЗМА В ВИСМУТЕ

И.Н. Жиллев

В висмутовых образцах при гелиевых температурах наблюдаен кинетический диа- и парамагнетизм, предсказанный Гуревичем в 1970 г. [1].

1. В экспериментах использовались образцы висмута, выращенные способом Чохральского. Отношение сопротивлений $\rho_{293\text{K}} / \rho_{4,2\text{K}} \approx 430$. С целью получения правильной геометрической формы образцов в виде бруска с квадратным сечением площадью $S = 0,9 \times 0,9 \text{ см}^2$ и длиной 7,5 см они обрабатывались на электроискровом станке, а затем обтачивались в HNO_3 для снятия наклепанного слоя. Продольная ось образцов $\parallel C_2$. В торцевой части приклеивались бифилярно изготовлен-

ные во избежании электрической наводки нагревателя. Для создания направленного теплового потока Q в образце его поверхность теплоизолировалась с помощью папиросной бумаги и тефлоновой пленки способом, описанным в [2]. Неизолированный конец образца имел тепловой контакт с жидким гелием и служил хладопроводом. На образец поверх тефлоновой пленки наматывалось проводом ПЭЛ-0,06 несколько катушек K_i с числом витков $n = 200$. Подключая к ним микроверберметр $\phi 190$ можно было измерять изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через них. Земное магнитное поле компенсировалось с точностью не хуже 0,01 Э. Образцы ориентировались в продольном магнитном поле $H_{||}$ с точностью не хуже 1° .

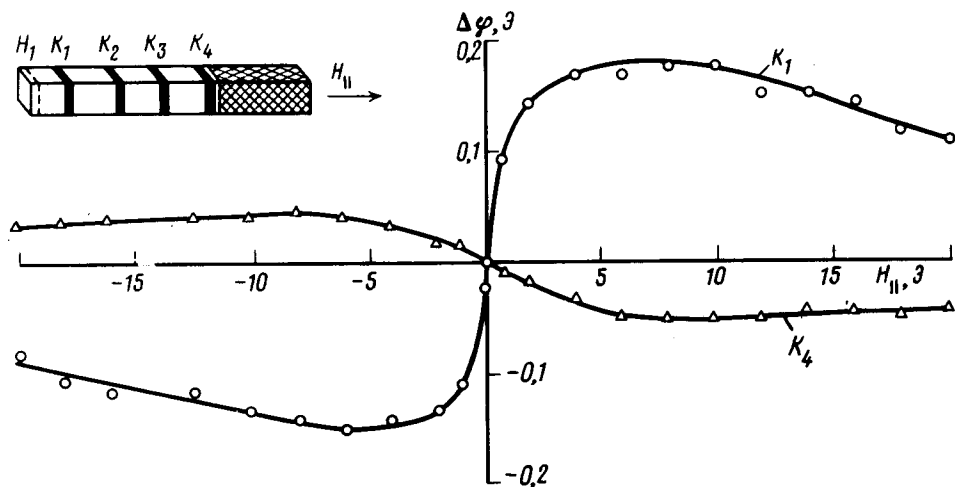


Рис. 1. Зависимость удельного магнитного потока $\Delta\phi$, регистрируемого катушками K_2 , K_4 от продольного магнитного поля $H_{||}$. Рисунок образца выполнен с сохранением пропорций

На рис.1 для одного из образцов приведен экспериментальный график удельного магнитного потока $\Delta\phi = \Delta\Phi / Sn$, возникающего при включении нагревателя мощностью 0,9 Вт и регистрируемого катушками K_1 и K_4 , в зависимости от $H_{||}$. Для катушек K_2 , K_3 зависимости не приведены, так как сигнал был практически равен нулю. Температура гелиевой ванны $\approx 1,3$ К. При этом использовался нагреватель H_1 намотанный по периметру образца в торцевой его части. Назовем его кольцевым. Из рисунка видно: 1) $\Delta\Phi$ наблюдается через катушки, находящиеся в местах "втекания" (K_1) и "вытекания" (K_4) тепла, т.е. там, где Q имеет радиальную компоненту; в местах же где Q в основном осевой (K_2 , K_3) $\Delta\Phi$ практически равен нулю. 2) Знак эффекта антисимметричен по $H_{||}$. 3) Знаки эффекта для катушек K_1 и K_4 противоположны. При этом K_1 регистрирует парамагнитный эффект, а K_4 — диамагнитный. 4) С

увеличением $H_{||}$ сигнал растет, достигает максимума и далее падает. На рис. 2 приведены аналогичные зависимости для того же образца в тех же условиях для K_1 , но с другими нагревателями плоской конструкции: покрывающим весь торец образца (назовем его плоским), а также с нагревателем, покрывающим часть торца образца (площадью $0,5 \times 0,5 \text{ см}^2$) и расположенным в центре торца (назовем его точечным). Мощности в нагревателях выделялись те же, что и в измерениях с кольцевым нагревателем. Из рис. 2 видно. 1) Знак эффекта при использовании точечного нагревателя изменился. При этом все характерные черты зависимости остались прежними. 2) Величина эффекта при использовании плоского нагревателя упала в несколько раз. Для катушек K_2, K_3, K_4 зависимость при использовании точечного нагревателя осталась практически той же. При повышении температуры гелиевой ванны величина эффекта при фиксированном $H_{||}$ падала. На другом образце с такими же параметрами были получены качественно подобные результаты.

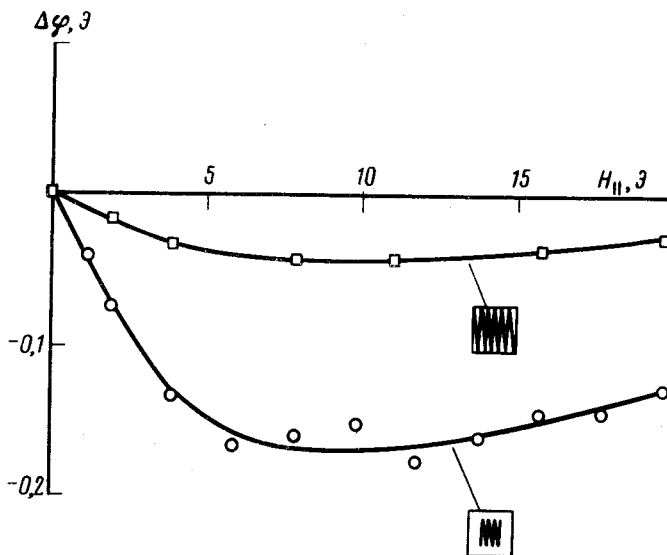


Рис. 2 Зависимости $\Delta\phi(H_{||})$ для катушки K_1 при использовании разных типов нагревателей

Наблюдаемые зависимости естественно связать с кинетическим диа- и парамагнетизмом, предсказанным в [1]. Согласно [1] в проводящем длинном цилиндре, находящемся во внешнем магнитном поле $H_{||}$, параллельном оси цилиндра, в котором имеется аксиальносимметричный градиент температуры ∇T , возникает азимутальный ток Нернста и Холла. При этом направление тока антисимметрично по отношению к направлению $H_{||}$. Направлению теплового потока изнутри наружу при положительном знаке коэффициента Нернста соответствует диамагнит-

ная восприимчивость, обратному направлению — парамагнитная. Из модели следует, что при малых $H_{||}$ плотность азимутального тока i линейна по $H_{||}$; при $H_{||} \approx H_0$, соответствующем $\Omega\tau \approx 1$ (Ω — циклотронная частота, τ — время релаксации) i достигает максимума и далее с увеличением $H_{||}$ падает. Анизотропия висмута, его многодолинность не должны, по нашему мнению, качественно изменить зависимость $i(H_{||})$. Основной вклад в эффект в образцах нашей ориентации должны дать два электронных эллипсоида, продольные оси которых развернуты относительно $H_{||}$ на 30° . Оценка H_0 для них дает $H_0 \approx 6 \text{ Э}$, что близко к положению максимума на экспериментальной зависимости $\Delta\phi(H_{||})$. Оценим согласно модели $\Delta\phi$, который должен возникнуть в наших образцах при пропускании теплового потока, конкретно в поперечном сечении, проходящем через плоскость катушки K_1 при малых $H_{||}$ в данных экспериментальных условиях. При малых $H_{||}$ магнитное поле экспоненциально изменяется при удалении в глубь образца от поверхности: $\sim \exp r/\delta$, где r — расстояние от поверхности, $\delta = c/4\pi Q_L \sigma \Delta T$, Q_L — коэффициент Нернста — Эттингсгаузена, c — скорость света, σ — проводимость. При $r \ll \delta$ для образца цилиндрического сечения диаметра d : $\Delta\phi \approx \frac{d}{6\delta} H_{||}$. В [3] и [4] измерены соответственно Q_L и κ для образцов с близкими к нашим образцам параметрами. Приняв $Q_L \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ В/Э} \cdot \text{град}$, $\kappa \approx 3,3 \text{ Вт/см} \cdot \text{град}$, $d = 0,9 \text{ см}$ и учтя, что поперечный ∇T в сечении образца, проходящем через плоскость K_1 примерно в пять раз меньше ∇T вдоль образца, получим $\Delta\phi \approx 0,20 H_{||}$. Из экспериментального графика (рис. 1) для K_1 имеем при малых $H_{||}$: $\Delta\phi \approx 0,15 H_{||}$.

Качественное совпадение наблюдаемых зависимостей и предсказываемых моделью диа- и парамагнетизма, а также согласие по порядку величины численных оценок на основе модели наблюдаемым величинам свидетельствуют о том, что наблюдаемое явление — кинетический диа- и парамагнетизм.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 января 1981 г.

Литература

- [1] Л.Э.Гуревич. Письма в ЖЭТФ, 11, 269, 1970.
- [2] В.Н.Копылов. ЖЭТФ, 78, 198, 1980.
- [3] И.Я.Коренблит, М.Е.Кузнецов, С.С.Шалыт. ЖЭТФ, 56, 8, 1969.
- [4] В.Н.Копылов, Л.П.Межов-Деглин. ФТТ, 15, 13, 1973.