Письма в ЖЭТФ, том 51, вып. 3, стр. 166–168 *10 февраля 1990 г.*

ТОМОГРАФИЯ БИСТАБИЛЬНЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ В МЕЗОСКОПИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКЕ

В.И.Фалько, Д.Е.Хмельницкий

Предложен метод определения положения бистабильного рассеивателя в мезоскопической проволоке по флуктуациям ее магнетосопротивления.

В последние годы неоднократно сообщалось о наблюдении бистабильного поведения сопротивления образцов малых размеров (см. обзор [1]). При этом сопротивление, как функция времени, принимает одно из нескольких фиксированных значений (в простейшем случае – одно из двух). В теории подобные явления интерпретируются [2] как чувствительность сопротивления мезоскопического образца к состоянию индивидуального рассеивателя (его зарядовому состоянию, положению и т.п.). Экспериментально известно, что мезоскопические магнетосопротивления для разных состояний слегка различаются [3]. Цель настоящей заметки – показать, как, изучая взаимные корреляции магнетосопротивлений, можно определить положение бистабильного рассеивателя (осуществить магнитную томографию образца).

Часть экспериментально исследованных образцов имела размеры L, меньшие, чем длина свободного пробега l (баллистический контакт). В других случаях оказывалось, что $L \gg l$ (диффузионный контакт). В настоящей заметке для определенности рассмотрим случай диффузионного контакта, имеющего форму длинного (квазиодномерного) мостика длины L и ширины $L_\perp \ll L$ между массивными берегами. Пусть бистабильный рассеиватель расположен на расстоянии x_0 от левого края мостика. В результате изменения состояния рассеивателя кондактанс G в магнитном поле H принимает значения $G_{1,2}(H)$. Информация, необходимая для томографии образца, содержится в корреляционной функции

$$K(\Delta H) = \langle G_1(H + \Delta H/2)\, G_2(H - \Delta H/2) \rangle - \langle G_1(H + \Delta H/2)\, G_1(H - \Delta H/2) \rangle. \tag{1}$$

Угловые скобки в (1) означают усреднение по реализациям случайного потенциала всех примесей, кроме изучаемого бистабильного рассеивателя. В соответствии с эргодической теоремой, такое усреднение, выполненное при теоретическом расчете, эквивалентно определению взаимной автокорреляционной функции экспериментальных зависимостей $G_{1,2}(H + \Delta H/2)$ (усреднение по H). Корреляционная функция $K(\Delta H)$ может быть выражена в виде

$$K(\Delta H) = 6(e^2/\hbar)^2 (D^2/L^4) \int dx dx' P^d(x, x', \Omega = 0) P^d(x, x', \Omega = 0) , \tag{2}$$

где двухчастичная функция Грина P^d в квазиодномерном случае в магнитных полях $\Delta H < < \Phi_0/L_\perp^2$ удовлетворяет уравнению

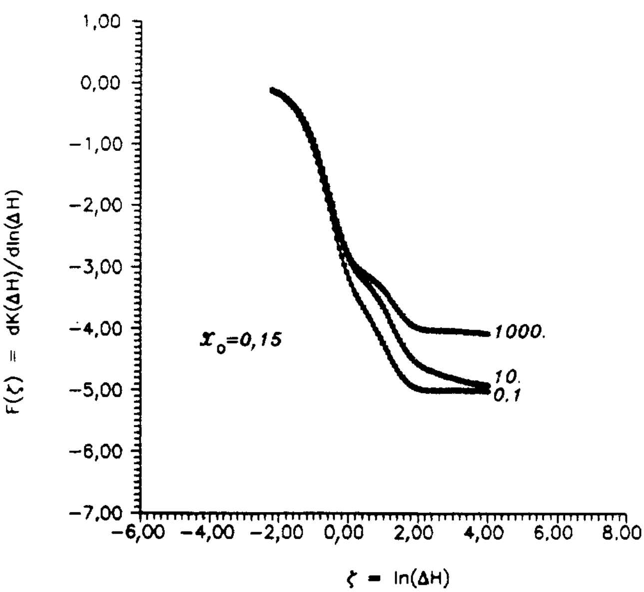
$$\{-i\Omega - D\nabla^2 + (L_\perp \Delta H e/\hbar c)^2/2 + \upsilon\delta(x - x_0)\} P^d(x, x', \Omega) = \delta(x - x') \tag{3}$$

с граничными условиями $P^d(x = 0) = P^d(x = L) = 0$. В этом уравнении

$$\upsilon = (2\pi\nu\tau)^{-1} \int dp_1 dp_2 |G^R(p_1) G^R(p_2)|^2 |u_1(p_1 - p_2) - u_2(p_1 - p_2)|^2$$

определяется изменением потенциала $u_{1,2}(r)$ бистабильного рассеивателя. Если параметр υ мал (так, что $w = \upsilon L/D\pi^2 \ll 1$), решение уравнения (3) может быть получено по теории возмущений, и коррелятор $K(\Delta H)$ в этом случае имеет вид

$$K(\Delta H, x_0) = (9/2\pi^3) w (e^2/h)^2 A^{-5} \{1 - [1 + \alpha A + (\alpha A)^2/3] \exp(-\alpha A)]\} , \tag{4}$$



Зависимость логарифмической производной корреляционной функции (1) от $\xi = \ln \Delta H$

где $A = 2^{1/2} \Delta H S/\Phi_0$, $S = L L_\perp$, и $\alpha = 2\pi x_0/L$. Выражение (4) относится к области достаточно большой разности магнитных полей $\Delta H > \Phi_0/S$ и имеет две разные асимптотики $K(\Delta H) \sim \sim \Delta H^{-3}$ и $K(\Delta H) \sim \Delta H^{-5}$ при $\Delta H < (L/x_0)\Phi_0/S$ и $\Delta H > (L/x_0)\Phi_0/S$ соответственно. В случае, если параметр υ не мал – т.е. при $w \gg 1$, – возмущение в уравнении (3) разбивает отрезок $[0,L]$ на две слабо связанные части, и $K(\Delta H)$ имеет вид

$$K(\Delta H, x_0) = 6\pi^{-2} (e^2/h)^2 \{A^{-4}/2 + \phi(1, A) - \phi(x_0/L, A) - \phi(1 - x_0/L, A)\} ,$$

$$\phi(x, A) = (\pi x/A^3) \operatorname{cth}(\pi x A) + (\pi x/A)^2 \operatorname{cosech}(\pi x A) . \tag{5}$$

Из (5) следует асимптотическое поведение $K(\Delta H) \sim (\Delta H)^{-3}$ и $K(\Delta H) \sim (\Delta H)^{-4}$ в описанных выше областях.

Положение x_0 бистабильного рассеивателя можно определить по значению ΔH, при котором происходит смена асимптотических режимов. Обрабатывая экспериментальные данные, удобнее всего это сделать по форме кривой логарифмической производной $F = d\ln K(\Delta H)/d\ln \Delta H$. На рисунке изображен результат численного расчета функции $F(\xi)$, $\xi = \ln \Delta H$, для $x_0/L = 0{,}15$ и трех значений $w = 0{,}1$; 10; 1000. Из рисунка видно, что,хотя форма кривой $F(\xi)$ изменяется при изменении v, тем не менее, значение ξ, при котором происходит смена асимптотических режимов, остается практически тем же самым.

В случае перезарядки или смещения d отдельного точечного рассеивателя следует ожидать, что $w \ll 1$ ($w \sim (L/l)^2/N_i$, если $p_F d/h \gg 1$ и $w \sim (L/l)^2 (p_F d/h)^2/N_i$, если $p_F d/h \ll 1$, N_i – полное число рассеивателей в образце). Большие значения v могут возникать при движении протяженных дефектов, например, дислокаций.

Литература

1. *Kirton M.J., Uren M.J.* Adv. in Phis., 1989, **38**, 367.
2. *Альтшулер Б.Л., Спивак Б.З.* Письма в ЖЭТФ, 1985, **42**, 363; *Feng S. et al.* Phys. Rev. Lett., 1986, **56**, 1960.
3. *Быков А.А. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1989, **49**, 113.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 января 1990 г.