

Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 3, стр. 162–164 *5 февраля 1974 г.*

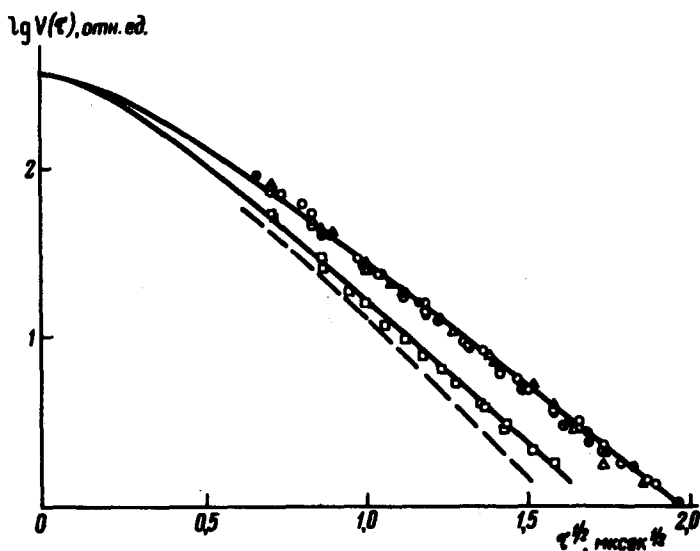
О ЗАКОНЕ ЗАТУХАНИЯ СПИНОВОГО ЭХА ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ В МЕТАЛЛАХ

*В.А.Жижарев, А.Р.Кессель, Э.Г.Харахашьян,
Ф.Г.Черкасов, В.Ф.Юданов, А.Я.Витол*

Обнаружен корневой закон затухания сигналов спинового эха на электронах проводимости в литии. Введено представление о пространственно-неоднородном характере спиновой релаксации на примесях (в объеме металла), которое может объяснить наблюдаемый закон.

Ранее [1, 2] сообщалось о наблюдении спинового эха электронов проводимости (СЭЭП) на сфероидальных частицах металлического лития,

взвешенных в диэлектрической матрице LiF. В этих работах максимальный временной интервал τ между зондирующими импульсами (величина его была ограничена интенсивностью сигнала эха от использовавшихся образцов) составлял $\sim 0,8 - 1$ мксек. Наблюдаемый закон затухания сигналов основного и стимулированного СЭЭП в пределах экспериментальных ошибок был близок к экспоненциальному.



Зависимость амплитуды сигнала основного СЭЭП в относительных единицах от временного интервала между зондирующими импульсами τ : ○ и △ – экспериментальные точки соответственно при 300 и 390°K без градиента, ● и ▲ – то же, но с градиентом. □ – экспериментальные точки при 77°K без градиента, штриховая линия – качественный характер спада сигналов эха с градиентом

В этой работе сообщаются предварительные результаты исследования СЭЭП на аналогичных образцах, но с большим количеством металла. Усовершенствование техники измерений и повышение интенсивности сигнала позволили значительно увеличить интервал τ (до 5 мксек). При этом неожиданно оказалось, что эмпирический закон затухания СЭЭП имеет вид:

$$V(2\tau) = V_0 \exp(-\sqrt{2\tau/T_{\text{эфф}}}). \quad (1)$$

Измерения были проведены при температурах 390, 300 и 77°K с использованием двухимпульсной методики как в однородном постоянном магнитном поле, так и с положением линейного градиента поля G величиной до 30 э/см. Полученные результаты представлены на рисунке. Как видно из рисунка при температурах 300 и 390°K экспериментальные точки ложатся на зависимость (1) с параметром $T_{\text{эфф}} = 8,3 \cdot 10^{-8}$ сек, причем влияние линейного градиента на спад СЭЭП отсутствует. При 77°K и $G = 0$ результаты измерений согласуются с (1), но уже с $T_{\text{эфф}} = 7,4 \cdot 10^{-8}$ сек. Наложение градиента при азотных температурах приводит к увеличению скорости затухания сигнала. При этом с увеличе-

нием C меняется и характер закона затухания СЭЭП от корневого (1) к экспоненциальному.

Затухание переходных процессов по закону (1) наблюдалось ранее на локализованных спинах в твердых диэлектрических парамагнетиках. Такой закон затухания является следствием стохастического характера изменения локальных магнитных полей, создаваемых хаотически расположенными в образце примесями. При этом существенно, что взаимодействие с примесями дальнедействующее и зависит от расстояния как r^{-3} [3].

В наших образцах релаксация спин-системы ЭП определяется, в основном, спин-орбитальным взаимодействием с примесями. Хотя это взаимодействие и является короткодействующим, в случае, когда время наблюдений сравнимо со средним временем спинового рассеяния ЭП и оно может привести к затуханию эха по закону (1). Учтем, что вследствие случайного расположения примесей в металле реальный процесс спиновой релаксации ЭП пространственно неоднороден, причем стохастическим параметром является число примесей на траектории движения ЭП. Тогда время t_{CT} между столкновениями, приводящими к релаксации, распределено с плотностью $g(t_{CT}) = \tau^{-1} \exp(-t_{CT}/\tau_0)$, где τ_0 — среднее по образцу время между последовательными актами релаксации ЭП на примесях. Вместо учета изменения времен t_{CT} вдоль траектории движения ЭП примем, что на траектории t_{CT} постоянно, а число траекторий с данным t_{CT} распределено с плотностью $g(t_{CT})$. Тогда время поперечной спиновой релаксации ЭП для данной траектории $T_2 - t_{CT}$, и усреднение решений уравнения Блоха по траекториям с распределением $g(T_2)$ дает для затухания СЭЭП окончательное выражение:

$$V(2\tau) = V_0 \exp\{-2\tau/T_s\} (4\tau/\tau_0) K_1^2(\sqrt{4\tau/\tau_0}), \quad (2)$$

где T_s — время поверхностной релаксации, $K_1(x)$ — модифицированная функция Бесселя второго рода, $\tau_0^{-1} = \sigma_s N_0 v_F$, σ_s — эффективное сечение спинового рассеяния на примесях, v_F — скорость Ферми, N_0 — число примесей в единице объема. Сплошные линии на рисунке соответствуют выражению (2) при следующих значениях параметров $N_0 \sigma_s = 10^{-2} \text{ см}^{-1}$, $T_s^{-1} \cong 10^{-5} \text{ мксек}$ при 77°К (при 300 и 390°К вклад поверхностной релаксации пренебрежимо мал).

Авторы выражают благодарность проф. М.М.Зарипову и Ю.Д.Цветкову за внимание к работе.

Казанский
физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
26 декабря 1973 г.

Литература

- [1] Э.Г.Харахашьян, Ф.Г.Черкасов, А.Я.Витол, А.Р.Кессель, В.Ф.Юданов. Письма в ЖЭТФ, 15, 156, 1972.
- [2] В.А.Жихарев, А.Р.Кессель, Э.Г.Харахашьян, Ф.Г.Черкасов, К.К.Шварц. ЖЭТФ, 64, 1356, 1973.
- [3] D. Tse, S. R. Hartmann Phys. Rev. Lett., 21, 511, 1968; А.Д.Милов, К.М.Салихов, Ю.Д.Цветков. ЖЭТФ, 63, 2329, 1972.