

УДК 539.143.43

© 1990

ОДНОИМПУЛЬСНОЕ ЭХО В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ С НЕОДНОРОДНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

В. И. Цифринович, А. М. Ахалкаци, И. Г. Кулиптиари

Проведен численный анализ отклика ядерной спиновой системы ферромагнетика на воздействие одиночного резонансного импульса с фазовым искажением вблизи фронта с учетом неоднородности коэффициента усиления ЯМР. Экспериментально исследовано одноимпульсное эхо от ядер ^{59}Co в Co_2MnSi . Показано, что простейшая теоретическая модель качественно описывает наблюдаемые сигналы.

Недавно было установлено, что формирование ядерного одноимпульсного эха (ОЭ) в ферромагнетиках при резонансном возбуждении связано с искажением резонансного импульса вблизи фронтов [1]. В связи с этим были сделаны первые шаги по исследованию отклика хановской системы на воздействие искаженного импульса [1-5]. В этих работах резонансное поле, действующее на ядра, считалось однородным. В реальных магнетиках из-за неоднородности электронной магнитной восприимчивости коэффициент усиления ЯМР η неоднороден даже в однодоменном состоянии. Известны ситуации, когда учет неоднородности коэффициента усиления полностью изменяет характер сигнала свободной прецессии (СП). Один из таких примеров — эффективное подавление осцилляций СП [6, 7]. В связи с этим возникает задача теоретического расчета ОЭ с учетом неоднородности η . Такой расчет, а также качественное сравнение его результатов с экспериментом являются целью настоящей работы.

Для теоретического анализа будем использовать простейшую модель искаженного импульса, в которой фаза импульса вблизи одного из фронтов сдвинута на π [1]. Во вращающейся системе координат резонансное поле h зададим выражением

$$h_y = 0, \quad h_x = \begin{cases} -h, & 0 < t < \tau_p, \\ h, & \tau_p < t < \tau_p + \tau \quad (\tau_p \ll \tau). \end{cases} \quad (1)$$

Решая уравнения Блоха без учета релаксации, получим выражение для y -компоненты ядерной намагниченности после выключения возбуждающего импульса

$$v = \mu_y/\mu = (q/b) \{ \cos \delta t' [\sin b\tau - \sin b\tau_p \cos b\tau + 2b^{-2} (\delta^2 - q^2) \sin^2 (b\tau_p/2) \sin b\tau] + \\ + (\delta/b) \sin \delta t' [-2 \sin^2 (b\tau/2) + \sin b\tau_p \sin b\tau + 2 \sin^2 (b\tau_p/2) \times \\ \times \cos b\tau + 8 (q/b)^2 \sin^2 (b\tau_p/2) \sin^2 (b\tau/2)] \}. \quad (2)$$

Здесь μ — равновесная ядерная намагниченность, δ — расстройка между частотой прецессии отдельной изохроматы и средней частотой ЯМР, $b = (q^2 + \delta^2)^{1/2}$, $t' = t - (\tau_p + \tau) > 0$. Наблюдаемый сигнал ЯМР описывается выражением

$$R(t') = - \int_0^{\infty} \eta f(\eta) d\eta \int_{-\infty}^{\infty} v(\delta, \eta, t') g(\delta) d\delta, \quad (3)$$

где $f(\eta)$, $g(\delta)$ — функции распределения; знак «минус» взят для удобства изображения графиков; зависимость коэффициента усиления η

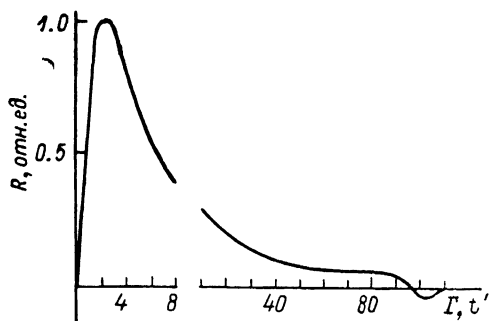


Рис. 1. Зависимость $R(t')$.

Начальный участок ССП представлен в увеличенном масштабе. Относительная точность вычислений составляет 10^{-4} .

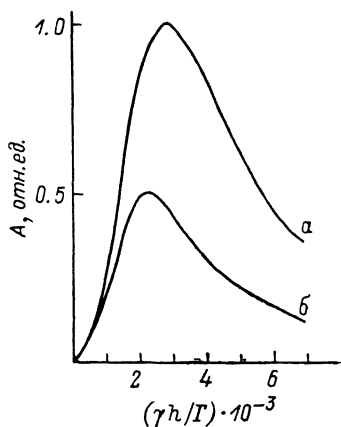


Рис. 2. Зависимости амплитуды ОЭ от амплитуды возбуждающего импульса для $\tau=10/\Gamma$ (а) и $15/\Gamma$ (б) при одинаковом значении параметров $\Delta\eta=150$ и $\tau_p=1/\Gamma$.

от величины δ не учитывается. Для численного анализа использовались гауссовы функции

$$g(\delta) \sim \exp[-\ln 2 (\delta/\Gamma)^2], \quad f(\eta) \sim \exp[-\ln 2 (\eta/\Delta\eta)^2]. \quad (4)$$

Здесь Γ — полуширина, а $\Delta\eta$ — ширина соответствующих распределений.

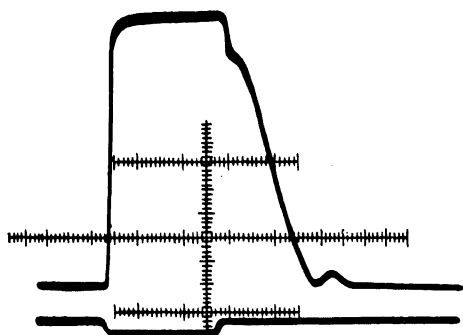


Рис. 3. Осциллограмма ССП и ОЭ в Co_2MnSi .

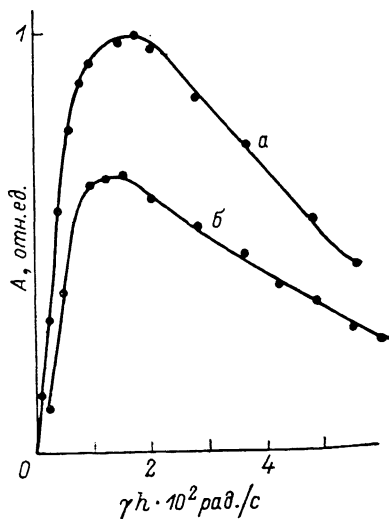


Рис. 4. Экспериментальная зависимость $A(h)$ при $\tau(\text{мкс})=10$ (а) и 20 (б).

Проведенные нами численные расчеты показывают, что в широком диапазоне изменения параметров на «хвосте» ССП формируется ОЭ. На рис. 1 в качестве примера изображена функция $R(t')$ при следующих значениях параметров:

$$\tau = 100/\Gamma, \quad \tau_p = 10/\Gamma, \quad \gamma h = 4 \cdot 10^{-4} \Gamma, \quad \Delta\eta = 150. \quad (5)$$

Нами исследована зависимость амплитуды ОЭ A от значений τ_p , h , τ и $\Delta\eta$. Основные результаты сводятся к следующему. При уменьшении τ_p и фикс-

сированном значении остальных параметров функция $A(\tau_p)$ монотонно уменьшается. Зависимость $A(h)$ имеет четко выраженный максимум. С ростом длительности импульса τ амплитуда ОЭ монотонно уменьшается, а максимум кривой $A(h)$ смещается в область меньших полей. В качестве примера на рис. 2 приведены соответствующие графики для двух значений τ . Наконец, при увеличении $\Delta\eta$ максимальная амплитуда ОЭ увеличивается, а экстремум функции $A(h)$ сдвигается в область меньших полей.

Для качественного сравнения теории с экспериментом аналогичные зависимости были сняты на поликристаллических образцах Co_2MnSi при $T=77$ К. Сигнал ОЭ от ядер ^{59}Co возбуждался резонансным импульсом с частотой заполнения $f_0=145$ МГц. При увеличении длительности импульса τ от 5 до 40 мкс амплитуда ОЭ монотонно уменьшалась, а максимум зависимости $A(h)$ смещался в область меньших полей. При $\tau < 5$ мкс наблюдалась суперпозиция сигналов ССП и ОЭ. На рис. 3 приведена осциллограмма отклика, а на рис. 4 изображены кривые $A(h)$ при двух значениях τ . Видно качественное соответствие между рис. 2 и 4. Таким образом, уже простейшая модель резонансного импульса с фазовым искажением при учете неоднородности коэффициента усиления ЯМР качественно описывает как наблюдаемую форму отклика, так и зависимость ОЭ от амплитуды и длительности возбуждающих импульсов.

Список литературы

- [1] Цифринович В. И., Мушаилов Э. С., Бакшеев Н. В., Бессмертный А. М., Глозман Е. А., Мальцев В. К., Новоселов О. В., Рейнгардт А. Е. // ЖЭТФ. 1985. Т. 88. № 4. С. 1481—1489.
- [2] Цифринович В. И. Расчет сигналов эха. Новосибирск: Наука, 1986. 112 с.
- [3] Кузьмин В. С., Яшин А. Н. // ФММ. 1986. Т. 62. № 4. С. 683—688.
- [4] Абеяшев Г. Н., Полулях С. Н., Сергеев Н. А., Федотов Ю. В. // Тез. докл. XVIII Всес. конф. по физике магнитных явлений. Калинин, 1988. С. 515—516.
- [5] Кузьмин В. С., Рутковский И. З., Сайко А. П., Тарасевич А. Д., Федорук Г. Г. // Световое эхо и пути его практических применений. Тез. докл. Куйбышев, 1989. С. 107.
- [6] Schenzle A., Wong N. C., Brewer R. C. // Phys. Rev. 1980. V. 21. N 3. P. 887—895.
- [7] Шавишвили Т. М., Гвалия Т. В., Ахалкаци А. М., Килиптари И. Г. Радиоспектроскопия. Пермь, 1987. С. 195—199.

Институт физики им. Л. В. Киренского
СО АН СССР
Красноярск

Поступило в Редакцию
27 ноября 1989 г.