

*Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 9, стр. 520 – 522      5 мая 1972 г.*

**УСИЛЕННОЕ СПИНОВОЕ ЭХО  
ПРИ НАКАЧКЕ НА ДВОЙНОЙ ЧАСТОТЕ**

*В. В. Данилов, В. И. Сулаков, А. В. Тычинский*

Предлагается следующее объяснение явления усиленного эха в ферритах, экспериментально обнаруженного в [1]. Благодаря внутренним нелинейным взаимодействиям, колебания магнитного момента, когерентные слабому первому импульсу (сигнал) параметрически усиливаются колебаниями, созданными мощным вторым импульсом (накачка). Это приводит к тому, что с увеличением временного интервала между возбуждающими импульсами ( $\tau$ ) эхо-сигнал сначала растет до некоторой величины, а затем падает вследствие процессов релаксации.

Предложенный механизм позволяет предсказать качественно новое явление в спиновом эхо: эффект усиления при накачке на двойной частоте.

Для количественного описания усиленного эха запишем уравнение движения амплитуд колебаний  $\nu$ -й моды ( $a_\nu$ ), параметрически взаимодействующей с колебаниями, созданными вторым импульсом

$$a_\nu - i\omega_\nu a_\nu + ia_\nu \exp[2i\omega_\nu(t - \tau)] a_\nu^* = 0. \quad (1)$$

Здесь  $\omega_\nu$  — комплексная собственная частота колебаний  $\nu$ -й моды ( $\omega_\nu = \omega_\nu' + i\omega_\nu''$ ),  $a_\nu$  — величина, зависящая от магнитного момента, созданного вторым импульсом и параметрами системы.

Решая уравнение (1) с начальным условием  $a_\nu = a_\nu^I \exp(i\omega_\nu \tau)$  при  $t = \tau$ , где  $a_\nu^I$  — амплитуда колебаний, созданных первым импульсом, можно показать, что при  $t = 2\tau$  в системе сфазирован усиленный эхо-сигнал. Выражение для коэффициента усиления будет иметь следующий вид:

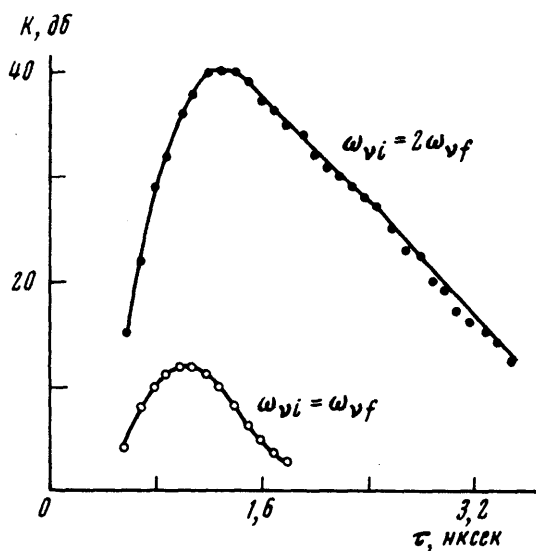
$$K = \frac{1}{4} \left\{ \exp \left[ \frac{|a|}{2\omega''} (1 - \exp[-2\omega''\tau]) \right] - \exp \left[ \frac{|a|}{2\omega''} (\exp[-2\omega''\tau] - 1) \right] \right\} \exp(-4\omega''\tau). \quad (2)$$

Уравнение движения в виде (1) имеет место при таких условиях: 1) частота распадающегося ( $\omega_{\nu i}$ ) и усиливаемого ( $\omega_{\nu f}$ ) колебания равны ( $\omega_{\nu i} = \omega_{\nu f}$ ); 2) частота распадающегося колебания вдвое больше частоты усиливаемого ( $\omega_{\nu i}/2 = \omega_{\nu f}$ ). Соотношение (2) справедливо как при условии  $\omega_{\nu i} = \omega_{\nu f}$  так и  $\omega_{\nu i} = 2\omega_{\nu f}$ . Однако во втором случае значение  $|a|$ , а следовательно и  $K$ , намного больше, поскольку оно определяется меньшими степенями разложения уравнения Ландау и Лифшица по отношению  $m/M_0$  [2].

Поэтому целесообразно провести эксперимент по исследованию усиленного эха, когда частота накачки вдвое больше частоты сигнала. Измерения проводились на монокристаллах феррита граната иттрия в форме цилиндра. Сигнал мощностью  $10^{-10}$  вт подавался на частоте 1,3 Гц. Накачка частоты 2,6 Гц мощностью 0,5 вт включалась через время  $\tau$  после подачи сигнала. Длительность возбуждающих импульсов изменялась в пределах от 70 до 300 нсек. Регистрация усиленного эхо импульса осуществлялась на частоте 1,3 Гц.

Экспериментальная установка позволяла последовательно реализовывать как случай 1) ( $\omega_{\nu i} = \omega_{\nu f}$ ), так и случай 2) ( $\omega_{\nu i}/2 = \omega_{\nu f}$ ). Величина подмагничивающего поля, при котором наблюдалось усиленное эхо, при переходе от одного случая к другому оказалось неизменным. Все это дало возможность сравнить эффективность работы эхо-системы в условиях совпадения частот и при накачке на двойной частоте. Результаты такого сравнения иллюстрирует рисунок, где представлены зависимости коэффициента усиления  $K = P^{\text{ЭХО}}/P^I$  ( $P^{\text{ЭХО}}$  и  $P^I$  — соответственно мощности эхо сигнала и первого импульса) от величи-

ны межимпульсного интервала  $\tau$ . Как видно из рисунка случай 2) с точки зрения усиления является более предпочтительным, что и следует из теоретического рассмотрения. Положение максимума кривой  $K(\tau)$  определяется конкурирующими процессами усиления и релаксации. Естественно, что увеличение усиления в случае 2) приводит к смещению максимума в сторону больших  $\tau$ .



Частота релаксации системы  $\omega_{y_i}$ , которая определялась по затуханию кривой  $K(\tau)$  при больших  $\tau$ , сохраняет свою величину при переходе от случая 1) к случаю 2), поскольку в обеих ситуациях в формировании эха участвуют одни и те же колебания, находящиеся вблизи нижней границы спектра спиновых волн.

Проведенные эксперименты, во-первых, подтвердили правильность данной интерпретации усиленного эха, во-вторых, позволили обнаружить новое явление, отсутствующее при магнитном резонансе в других системах, — эхо на разных частотах импульсов и, в-третьих, дали возможность получить значительно большее усиление.

Киевский  
государственный университет  
им. Т.Г.Шевченко

Поступила в редакцию  
22 марта 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] D.E.Kaplan, R.M.Hill, G.F.Herrmann. Phys. Rev. Lett., 20, 1156, 1968.  
[ 2 ] H.Suhl. J. Phys. Chem. Sol., 1, 209, 1957.