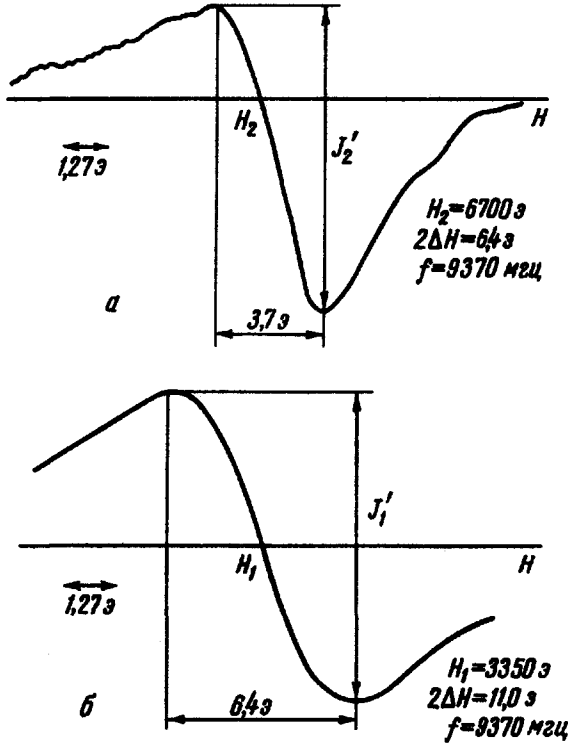


НЕЛИНЕЙНЫЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

И.А.Дерюгин, В.В.Запорожец, Г.А.Мелков

Рассмотрим ферромагнитный образец, находящийся под действием переменного h и постоянного H магнитных полей. При значении постоянного магнитного поля $H_1 = \omega/\gamma$ (ω — частота переменного поля, γ — гиромагнитное отношение для электронного спина) имеет место линей-

ный ферромагнитный резонанс. Явление ферромагнитного резонанса (ФМР) состоит в возбуждении падающим на образец фотоном спиновой волны с энергией, равной энергии фотона. Очевидно, что, кроме такого процесса, возможен процесс возбуждения спиновой волны при одновременном поглощении n падающих фотонов, при этом энергия спиновой



a – производная от линии поглощения при НФМР; b – производная от линии поглощения при линейном ФМР. Отношение интенсивностей $I_1' / I_2' = 10^6$

волны будет в n раз больше энергии фотона. Назовем такой процесс нелинейным ферромагнитным резонансом (НФМР) n -ого порядка. Значение постоянного магнитного поля, определяющего энергию спиновых волн и необходимого для наблюдения резонанса n -ого порядка, очевидно, равно $H_n = n \omega / \gamma$.

Вероятность возникновения одной спиновой волны при поглощении n фотонов отлична от нуля в n -ом порядке теории возмущений.

Исследуем НФМР второго порядка, т.е. при $n = 2$. Гамильтониан взаимодействия может быть записан в виде

$$H = \hbar M, \tag{1}$$

где M – вектор намагниченности образца (направление равновесной намагниченности M_0 совпадает с осью z).

По обычной схеме, переходя от (1) к представлению вторичного квантования [1] и пользуясь теорией возмущений второго порядка, получим следующее выражение для вероятности рождения одной спиновой волны при одновременном поглощении двух фотонов

$$W = \frac{\pi \gamma^3 M_0}{4 \omega^2} V f(\omega) h_x^2 h_z^2, \quad (2)$$

где V – объем образца; $f(\omega)$ – форм-фактор линии. Мощность поглощенная при нелинейном резонансе, равна

$$P_{\text{погл}} = \chi_{\text{рез}}'' \frac{\gamma^2 h_x^2 h_z^2}{4 \omega} V, \quad (3)$$

где $\chi_{\text{рез}}''$ – резонансная восприимчивость при линейном ФМР [2]. Согласно формуле (2) форма линии поглощения НФМР должна совпадать с формой линии линейного ФМР.

Эксперимент по обнаружению НФМР второго порядка был проведен на стандартном радиоспектроскопе РЭ1301 на частоте 9370 *Мгц*. Использование отражательного резонатора добротность к 500 и мощности излучения порядка 15 *вт* позволило зарегистрировать на пределе чувствительности спектрометра линии поглощения НФМР на монокристаллической сфере, изготовленной из железо-иттриевого граната. Диаметр сферы – 3,3 *мм*. На ленте самописца регистрировалась производная от линии поглощения (рис.1, *а*). После записи НФМР, в тех же условиях (ориентация и местоположение ферритовой сферы в резонаторе), но при меньшей падающей мощности СВЧ излучения, была записана производная от кривой поглощения для линейного ФМР (рис.1, *б*). В этом случае в качестве источника высокочастотной энергии использовался клистронный генератор спектрометра, во избежание нагрева образца.

Ширины кривой поглощения НФМР и линейного ФМР составляют соответственно 6,4 и 11,0 э. Большая ширина линии нелинейного ФМР, полученная экспериментально, обусловлена искажением высокочастотного поля в резонаторе из-за сильного поглощения ферритом СВЧ мощности.

Отсюда видно, что НФМР может найти применение при изучении формы линий ФМР образцов больших размеров. Кроме того, исследованное явление представляет значительный интерес с точки зрения изучения нелинейных взаимодействий, имеющих место в твердом теле.

Киевский
Государственный университет

Поступило в редакцию
13 февраля 1967 г.

Литература

- [1] А.И.Ахиезер, В.Г.Барьяхтар, М.И.Каганов. УФН, 71, 533, 1960.
[2] А.Г.Гуревич. Ферриты на СВЧ. Физматгиз, М., 1960.