

## НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ИЗОТРОПНОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ

В. М. Гряник

Показано, что в изотропном ферромагнетике вблизи кривой фазового перехода в области низких частот электромагнитная диссипация является существенно нелинейной даже в слабых переменных полях.

В работе [1] найдено, что изотропный ферромагнетик в гидродинамическом приближении, в области полей и температур таких, что  $|M - M_s| \ll M_s$  ( $HT^{-2} \ll 16\pi^2 c^3 M_s^3$ ), описывается термодинамическим потенциалом

$$\Phi = f(M_s^2) + \frac{A}{3} |M - M_s|^3 - MN, \quad (1)$$

$$A = 16\pi^2 c^3 M_s^3 T^{-2},$$

где  $M$  — плотность магнитного момента,  $M_s$  — плотность спонтанного магнитного момента,  $c$  — константа пропорциональная обменному интегралу,  $H$  — внешнее магнитное поле. Кубический член описывает вклад от сильно развитых вблизи кривой фазового перехода длинноволновых флуктуаций. Конкретный вид его тесно связан с принципом сохранения величины магнитного момента, который справедлив асимптотически точно для однородных флуктуаций, а для неоднородных локально в объемах  $T/M_s H \ll V \ll R_c^3$  ( $R_c = \sqrt{c M_s / H}$  — радиус корреляции).

Особый интерес представляет низкочастотная динамика этих флуктуаций. Характерные черты ее можно выяснить рассматривая изотропный ферромагнетик, помещенный в однородные постоянное поле  $H$  и параллельное ему переменное поле  $|h| = h \sin \omega t$ . Благодаря сильному обменному взаимодействию, в выделенных объемах достаточно быстро устанавливается локальное равновесие, по крайней мере, при  $\omega \ll \gamma H$ . Изменение магнитного момента со временем определяется тогда уравнением движения Ландау — Лифшица [2]

$$\dot{M} = -\gamma [MN_{\text{эфф}}] + R, \quad (2)$$

где  $N_{\text{эфф}} = -\frac{\delta \Phi}{\delta M}$  — эффективное магнитное поле,  $\gamma$  — гиромагнитное отношение,  $R$  — релаксационный член. Релаксацию учтем, считая  $R$

линейной функцией  $N_{\text{эфф}}$ :  $R = \frac{1}{\tau_{\parallel}} N_{\text{эфф}} + \frac{1}{\tau_{\perp} M^2} [M[N_{\text{эфф}}]]$  [3]. Ве-

личины  $\tau_{\parallel}$  и  $\tau_{\perp}$  характеризуют релаксацию и имеют размерность времени.

Интересуясь частотами и полями меньшими пороговых для параметрического возбуждения спиновых волн [4], можем ограничиться рассмотрением уравнения (2) только для компоненты момента, направленной

ной по полю

$$\dot{M}_z = -\frac{1}{\tau_{\parallel}} A (M_z - M_s)^2 + \frac{1}{\tau_{\parallel}} H + \frac{1}{\tau_{\parallel}} b \sin \omega t, \quad (3)$$

где предполагается, что  $\tau_{\parallel}$  не зависит от внешнего поля. В области малых переменных полей и больших частот решаем (3) методом теории возмущений, в области малых частот используем адиабатическое приближение. Для энергии, поглощаемой ферромагнетиком в единицу времени  $W = \overline{\dot{M}_z b}$  (черта означает усреднение по времени), находим

$$W = \frac{\chi_{\parallel} b^2}{2} \frac{\chi_{\parallel}^* \tau_{\parallel} \omega^2}{1 + (\chi_{\parallel} \tau_{\parallel} \omega)^2}, \quad \frac{b}{H} \ll 1 + \chi_{\parallel} \tau_{\parallel} \omega, \quad (4)$$

$$W = \chi_{\parallel} H^2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{b^2}{H^2}} \right) \chi_{\parallel} \tau_{\parallel} \omega^2, \quad \chi_{\parallel} \tau_{\parallel} \omega \ll \frac{(H-b)}{(H+b)b^{1/2}}, \quad (5)$$

где  $\chi_{\parallel} = T/8\pi(cM_s)^{3/2}H^{1/2}$  — продольная магнитная восприимчивость.

Обратим внимание на то, что истинными релаксационными временами являются  $\chi_{\parallel} \tau_{\parallel}$  и  $\chi_{\perp} \tau_{\perp}$ . И не только поперечное, но и продольное релаксационное время становится бесконечно большим при  $H \rightarrow 0$ . Нелинейные потери оказываются существенными в области низких частот даже в слабых переменных полях (5). Следы нелинейности остаются и в линейной области в виде зависимости поглощаемой энергии от подмагничивающего поля (4).

Независимо такое поглощение можно было бы экспериментально наблюдать только в допороговой области (именно этот случай и исследовался). В силу универсальности поглощения вдоль всей кривой фазового перехода такие измерения дали бы полезную информацию о динамике критических флуктуаций в большом диапазоне полей и температур и помогли бы выяснить характер релаксации в этой области.

Автор признателен В.Л.Покровскому за постановку задачи и руководство работой, В.С.Лутовинову за обсуждение.

Институт теоретической физики  
им. Л.Д.Ландау  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
27 ноября 1973 г.

### Литература

- [1] А.З.Паташинский, В.Л.Покровский. ЖЭТФ, 64, 1445, 1973.
- [2] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Phys. Zs. Sowjet., 8, 153, 1935 или Л.Д.Ландау сбор. трудов т.1, стр. 128.
- [3] А.И.Ахиезер, В.Г.Барьяхтар, С.В.Пелетминский. Спиновые волны, М., изд. Наука, 1967 § 5,2.
- [4] Н. Suhl, Phys. Chem. Sol., 1, 209, 1957; Я.А.Моносов. Нелинейный ферромагнитный резонанс М., изд. Наука, 1971, § 6,7.