

- [1] Hinks D. G., Soderholm L., Capone D. W., Jorgensen J. D. et al. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 50. N 23. P. 1688—1693.  
 [2] Bednorz J. G., Muller K. A. // Z. Phys. — Condens. Mat. 1986. V. 64. P. 189—195.  
 [3] Мелех Б. Т., Андреев А. А., Картенко Н. Ф., Коркин И. В., Смирнов В. В., Филин Ю. Н. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1982. Т. 18. № 1. С. 98—101.  
 [4] Справочник «Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов». № 3—5. Л.: Наука, 1987. С. 119—120.  
 [5] Френкель Я. И., Сергеев М. И. // ЖЭТФ. 1939. Т. 9. № 2. С. 189—191.

Физико-технический институт  
 им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
 Ленинград

Поступило в Редакцию  
 5 января 1989 г.

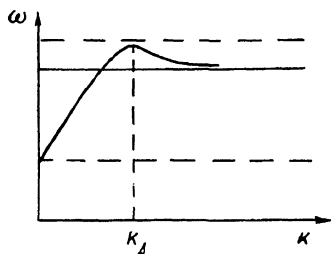
УДК 538.221

Физика твердого тела, том 31, в. 6, 1989  
 Solid State Physics, vol. 31, № 6, 1989

## К ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН

А. Д. Бордман,<sup>1</sup> С. А. Никитов

В работах [1, 2] рассмотрены свойства нелинейных безобменных поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). В частности, там указано, что в тонких пленках ферромагнетика при  $k \rightarrow 0$  ( $k$  — волновое число ПМСВ) продольные солитоны ПМСВ (солитоны огибающей) образоваться не могут в силу невыполнения критерия Лайтхилла [3]. В [4, 5], однако, было экспериментально обнаружено, а затем качественно объяснено, что



Качественный вид спектра ПМСВ, распространяющийся в ферромагнитной пленке вблизи от металлического экрана.

такие солитоны могут образоваться вблизи дипольно-обменных щелей ПМСВ, у одного из краев которых производная групповой скорости по волновому числу имеет противоположный знак. В предыдущей работе [6] нами было показано, что солитоны огибающей могут образовываться для ПМСВ и в безобменном приближении, в случае, когда угол между направлением распространения и внешним магнитным полем отличен от прямого. В настоящем сообщении мы опишем еще одну возможность существования солитонов огибающей ПМСВ.

Известно [7], что если ПМСВ распространяется в ферромагнитной пленке вблизи от металлического экрана, ее спектр качественно выглядит так, как это показано на рисунке. Найдем дисперсионное уравнение нелинейной ПМСВ, распространяющейся в такой пленке (толщина пленки  $d$ , расстояние от пленки до экрана  $l$ ). Решение для магнитостатического потенциала  $\Psi$  нелинейной ПМСВ записывается в виде [6]

$$\Psi = A (1 + L_1 k x) e^{kx} + A\alpha (1 + L_2 k x) e^{-kx} + AL_3 e^{-3kx} + AL_4 e^{3kx} + \text{к. с.}, \quad (1)$$

где  $A$  — амплитуда потенциала;  $L_1 \div L_4$  сложные функции, зависящие от частоты, волнового числа и мощности волны;  $L_1 \div L_4$  пропорциональны

<sup>1</sup> Физический факультет Солфордского университета. Солфорд, Англия.

$|A|^2$ ;  $\alpha = (\mu_1 + \mu_2 - 1)/(\mu_1 - \mu_2 + 1)$ ,  $\mu_1, \mu_2$  — компоненты тензора магнитной проницаемости. Решения вне пленки записываются в обычном виде. Граничные условия (на поверхностях пленки: непрерывность потенциала и нормальной компоненты магнитной индукции; на металле: нормальная компонента магнитной индукции равна 0) должны выполняться с учетом нелинейности волны. В результате решения граничной задачи приходим к дисперсионному уравнению

$$(\mu_1 + \mu_2 - 1) [\mu_1 - \mu_2 - \text{th}(kl)] e^{-2kd} - (\mu_1 - \mu_2 + 1) [\mu_1 + \mu_2 + \text{th}(kl)] = -F_1 [\mu_1 - \mu_2 - \text{th}(kl)] e^{-2kd} + F_2 [\mu_1 + \mu_2 + \text{th}(kl)] + F_3 (\mu_1 - \mu_2 + 1) - F_4 (\mu_1 + \mu_2 - 1) e^{-2kd}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} F_1 &= \mu_1 (L_1 + 3L_4 - 3L_3) + (\mu_2 - 1) (L_3 + L_4), & F_2 &= \mu_1 L_2, \\ F_3 &= -\mu_1 L_1 (1 + kd) + 3\mu_1 L_3 e^{-4kd} - 3\mu_1 L_4 e^{2kd} - \mu_2 kd L_1 - \mu_2 (L_3 e^{-4kd} + L_4 e^{2kd}) - \\ &\quad - L_1 kd \text{th}(kl) - (L_3 e^{-4kd} + L_4 e^{2kd}) \text{th}(kl), \\ F_4 &= -\mu_1 L_2 (1 - kd) - \mu_2 L_2 kd - L_2 kd \text{th}(kl). \end{aligned} \quad (3)$$

В отсутствие нелинейности, когда правая часть (2) равна 0, левая часть описывает дисперсионное уравнение ПМСВ, распространяющихся в ферритовой пленке с металлическим экраном. Далее, считая, что нелинейность слабая, разлагаем волновое число и частоту вблизи их линейных значений:  $k = k_0 + \Delta k$ ,  $\omega = \omega_0 + \Delta \omega$ . Из уравнения (2) можно найти нелинейный сдвиг частоты или волнового числа

$$\Delta k = \Phi / (\partial D / \partial k)_{k_0, \omega_0}, \quad (4)$$

где  $\Phi$  — правая часть (2),  $D$  — детерминант ПМСВ.

Критерий Лайтхилла, являющийся необходимым условием существования солитонной неустойчивости, есть [3]

$$(\partial \omega / \partial |A|^2) / (\partial^2 \omega / \partial k^2) < 0. \quad (5)$$

Из рисунка видно, что для части спектра ПМСВ при  $k > k_A$ ,  $\partial^2 \omega / \partial k^2 > 0$  (групповая скорость  $v_{гр}$  меньше 0),  $\partial \omega / \partial |A|^2 = (\partial k / \partial |A|^2) v_{гр}$ . Численные расчеты по формулам (2), (4) показывают, что  $\partial k / \partial |A|^2 > 0$ . Так, для  $\omega_0 = 5.6$  ГГц,  $d = 10$  мкм,  $l = 10$  мкм,  $k = 10^4$  см<sup>-1</sup>  $\partial k / \partial |A|^2 \approx \approx 1.5 \cdot 10^{10}$  см<sup>-3</sup> Гс<sup>-2</sup> с<sup>-2</sup>. Тем самым для части спектра при  $k > k_A$  критерий Лайтхилла выполняется, что говорит о возможности образования продольных солитонов (солитонов огибающей) ПМСВ.

Таким образом, в данном сообщении предложена еще одна возможность существования солитонов ПМСВ.

#### Список литературы

- [1] Лукомский В. П. // УФЖ. 1978. Т. 23. С. 134—139.
- [2] Звездин А. К., Попков А. Ф. // ЖЭТФ. 1983. Т. 84. С. 606—618.
- [3] Карман В. И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973. 175 с.
- [4] Калинин Б. А., Ковшиков Н. Г., Славин А. Н. // Письма в ЖЭТФ. 1983. Т. 38. № 5. С. 343—347.
- [5] Калинин Б. А., Славин А. Н. // ФТТ. 1984. Т. 26. N 11. С. 3456—3458.
- [6] Boardman A. D., Gulyaev Yu. V., Nikitov S. A. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 37. N 12. P. 3401—3405.
- [7] de Wames R. E., Wolfram T. // J. Appl. Phys. 1970. V. 41. N 12. P. 5243—5251.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
5 января 1989 г.