

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В КВАЗИДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЕ СПИНОВ, ЛОКАЛИЗОВАННЫХ В БЛОХОВСКОЙ СТЕНКЕ

В.С.Горнаков, Л.М.Дедух, В.И.Никитенко

Обнаружены уединенные нелинейные волны солитонного типа в системе спинов, локализованных в монополярной 180-градусной блоховской стенке иттриевого феррограната, возникающие под влиянием синусоидального магнитного поля, действующего вдоль векторов намагниченности в соседних доменах.

Как известно, намагничивание и перемагничивание ферромагнетиков определяется либо нелинейными процессами поворота намагниченности на значительные углы. Строгое их теоретическое рассмотрение до настоящего времени еще не осуществлено и представляет собой важную фундаментальную задачу.

В последние годы, однако, были достигнуты значительные успехи в развитии методов точного решения нелинейных уравнений Ландау – Лифшица движения намагниченности в идеализированной ситуации – для ферромагнетика в условиях отсутствия диссипации^{1, 2}. Анализ этих результатов показывает, что нелинейная динамика сильно возбужденной системы спинов может быть описана на основе учета многомагнонных процессов, приводящих к формированию связанного состояния большого числа магнонов – магнонных капель. В одномерном ферромагнетике такое нелинейное возбуждение представляет собой уединенную волну, которая при большой амплитуде трансформируется в связанное состояние двух доменных границ – двух топологических солитонов, получившее название динамического (самолокализованного) солитона или бiona.

В свете сказанного большой интерес представляет поиск доказательств существования нелинейных возмущений солитонного типа в реальном магнитоупорядоченном кристалле, выявление условий их возникновения и развитие методов получения сведений об их свойствах. В настоящей работе удалось реализовать экспериментальную ситуацию, в которой оказалось возможным генерировать уединенные нелинейные волны намагниченности (M_s) в монополярной блоховской стенке и получать полную информацию об их характеристиках.

Исследования выполнены на монокристаллических пластинах иттриевого феррограната, толщиной 40 – 80 мкм, ограниченных плоскостями $\{110\}$ или $\{112\}$. Они содержали в исходном состоянии 180-градусные доменные границы (ДГ), разделенные блоховскими линиями на участки (субдомены) противоположной полярности (рис. 1, а). При наложении на кристалл (с помощью катушек Гельмгольца) постоянного магнитного поля H_z , действовавшего нормально поверхности пластины, и синусоидального поля H_x , параллельного M_s в доменах, вся система исходных блоховских линий смещалась в одном направлении³ и ДГ становилась монополярной. Однородная поляризация спинов в ней сохранялась и после снятия внешних полей (рис. 1, б).

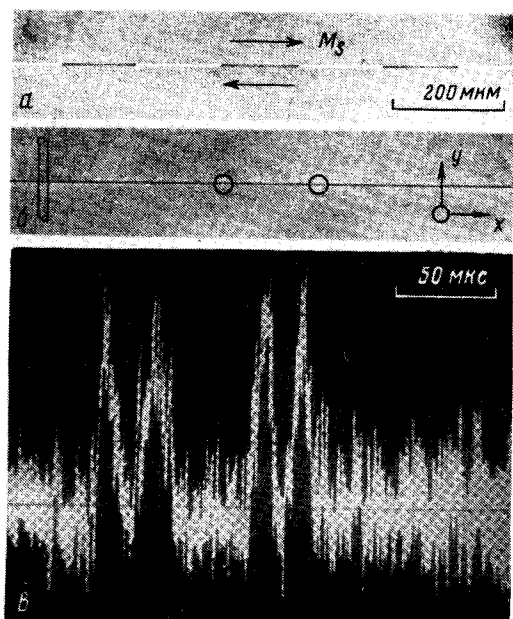


Рис. 1. *a* – 180-градусная ДГ в исходном состоянии (никели поляризационного микроскопа раскрещены); *б* – она же после действия на кристалл поля H_x ($H_x^0 = 20$ мЭ, частота $\nu = 50$ кГц) при $H_z = 8,5$ Э. Указаны расположения проводника и световых пятен (диаметр пятна 20 мкм, расстояние между ними 160 мкм); *в* – однократная осциллограмма отражает последовательное прохождение вдоль ДГ через световые лучи двух возмущений, возникших при непрерывном действии полей H_x ($H_x^0 = 20$ мЭ, $\nu = 0,4$ МГц) и $H_z = 11,5$ Э и характеризующихся практически перевёрнутыми спинами. Каждый раздвоенный пик соответствует движению одного возмущения через два луча

Возбуждение спиновой системы в ДГ производилось полем H_x . Для того чтобы исключить вероятность случайного зарождения субдоменов с инвертированным направлением спинов, постоянное поле H_z в несколько Эрстед также сохранялось в течение всего эксперимента.

Для регистрации динамических изменений структуры ДГ поляризованное излучение лазера ЛГ-36 разделялось двупреломляющей пластиной на два пучка, которые пропускались через кристалл в месте расположения одной ДГ (рис. 1, *б*) и направлялись на ФЭУ. Интенсивность света, прошедшего через слегка раскрещенные николи микроскопа, определялась эффектом Фарадея. Обусловленный им сигнал ФЭУ записывался на экране запоминающего осциллографа в режиме однократной развертки.

В случае малых амплитуд, H_x^0 , поля H_x на всех исследованных его частотах (0,1 – 10 МГц) никаких изменений структуры в "намагниченной" ДГ ФЭУ не регистрировал. При увеличении H_x^0 до некоторых пороговых значений $H_{кр}^0$ обнаруживались возбуждения ДГ, которые фиксировались осциллографом в виде пиков, показанных на рис. 1, *в*. Эти всплески интенсивности были вызваны нелинейными спиновыми волнами, распространявшимися вдоль ДГ.

На рис. 2 приведена частотная зависимость амплитуды поля $H_{кр}^0$, инициировавшего их возбуждение. При частотах и амплитудах поля H_x , лежащих выше этой кривой, нелинейные волны намагниченности являлись обязательными элементами структуры ДГ, подобно тепловым магнонам для слабо возмущенной системы. Частота их следования увеличивалась с ростом H_x^0 и могла быть оценена по осциллограмме, пример которой показан на рис. 1, *в*. Исходное же, "размагниченное" состояние ДГ в использованном диапазоне значений H_x^0 не восстанавливалось.

При $H_x^0 < H_{кр}^0$ нелинейные возмущения в ДГ не возникали. Однако, в этих условиях удавалось генерировать уединенные нелинейные волны намагниченности однократным импульсом магнитного поля, созданного электрическим током, пропущенным через наложенную на кристалл тонкую металлическую проволоку (рис. 1, *б*). На рис. 3, *а* показан пример записи сигнала от такой волны. Уединенная нелинейная волна прошла через фотометрируемые участки через 150 мкс после локального действия импульса поля.

Зная расстояние между пучками и уровень сигнала, отвечающего инверсии направления спинов в границе, измерив по осциллограмме время между пиками, можно вычислить ско-

рость (v) движения нелинейного возбуждения, а по их форме и амплитуде — его пространственные характеристики и амплитуду. Для представленного на рис. 3, *а* случая $v \approx 8$ м/с, размер возмущенной области в направлении движения ~ 60 мкм. В экспериментах наблюдались пики как от очень малых, но уже надежно выделявшихся над уровнем шумов возмущений, так и от соответствовавших полностью перевернутым спинам. Перемещая кристалл и изменяя место положения фотометрируемых областей в границе можно получать сведения о кинетике формирования нелинейного возбуждения.

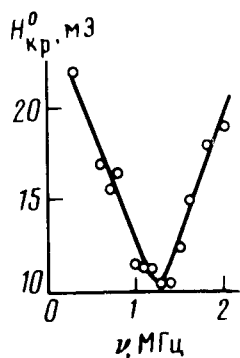


Рис. 2. Зависимость критической амплитуды ($H_{кр}^0$) поля H_x от его частоты (ν). $H_z = 11,5$ Э

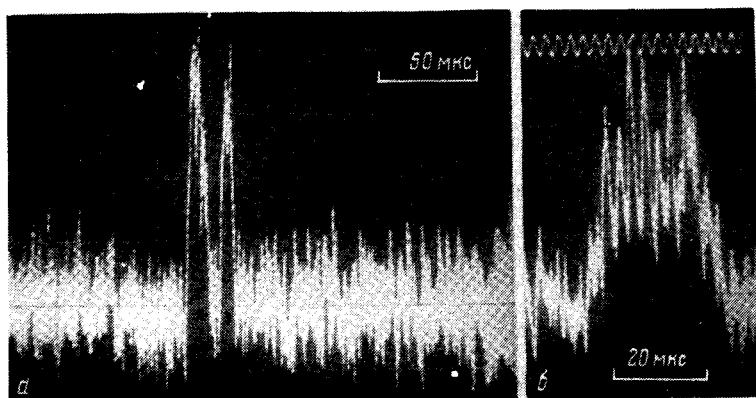


Рис. 3. Магнито-оптические сигналы, связанные с последовательным прохождением одиночного возмущения через два (*а*) и через одно (*б*) световые пятна. Момент приложения локального импульса поля длительностью 0,18 мкс совпадает с началом развертки каждой осциллограммы: *а* — $H_x^0 = 10$ мЭ, $\nu = 0,4$ МГц, $H_z = 11,5$ Э; *б* — $H_x^0 = 12$ мЭ, $\nu = 0,4$ МГц (верхняя синусоида), $H_z = 10$ Э

При увеличении временного масштаба отчетливо обнаруживалась модуляция сигнала с частотой, равной частоте поля H_x (рис. 3, *б*). Она могла быть обусловлена как периодическим изменением размера возбужденной области, так и прецессией расположенных в ней спинов.

Описанная выше уединенная нелинейная волна намагниченности при большой амплитуде ($\sim 180^\circ$) является связанным состоянием двух брэгговских линий — топологических солитонов для рассматриваемой спиновой подсистемы. Она обладает теми же свойствами, которыми характеризуются динамические солитоны в теориях, развитых для описания нелинейной динамики намагниченности в ферромагнетиках в отсутствие диссипативных процессов². Таким образом, представленные результаты дают прямое доказательство существования динамических солитонов, локализованных в ДГ реального магнетика, в условиях наличия диссипации при подкачивании энергии в систему со стороны внешнего магнитного поля.

Авторы выражают глубокую благодарность А.В.Михайлову и Э.И.Рашба за обсуждение результатов.

Литература

1. Ахиезер И.А., Боровик А.Е. ЖЭТФ, 1967, 52, 1332.
2. Косевич А.М. ФММ, 1982, 53, 420.
3. Dedukh L.M., Gornakov V.S., Nikitenko V.I. Phys. Stat. Sol. (a), 1983, 75, K117.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 декабря 1983 г.
