

## ПРЯМОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ БЛОХОВСКОЙ ЛИНИИ

Ю.П.Кабанов, Л.М.Дедух, В.И.Никитенко

Обнаружены специфические изгибные стоячие волны, которые обусловлены эллиптически поляризованными колебаниями различных участков блоховской линии, свойственными магнитным вихрям.

В последние годы были достигнуты значительные успехи в изучении динамических свойств двумерных, содержащих блоховские (неелевские) линии доменных границ (ДГ), в которых спины изменяют свое положение не только в направлении, перпендикулярном стенке (как в модели Ландау – Лифшица одномерной ДГ<sup>1</sup>), но и вдоль нее. Было установлено, что блоховские линии (БЛ), разделяя участки в ДГ с противоположными направлениями разворотов спинов, характеризуются величинами эффективной массы и подвижности<sup>2,3</sup>, отличающимися от их значений в прилегающих участках квазиодномерной стенки. БЛ, являясь вихреподобными топологическими<sup>4,5</sup> солитонами, характеризуются также специфической, свойственной вихрям<sup>6</sup>, динамикой. В однородном внешнем магнитном поле они испытывают действие дополнительных – гиротропных сил в направлении, не совпадающем с направлением их движения. В результате они могут совершать эллиптически поляризованные свободные или вынужденные однородные колебания.

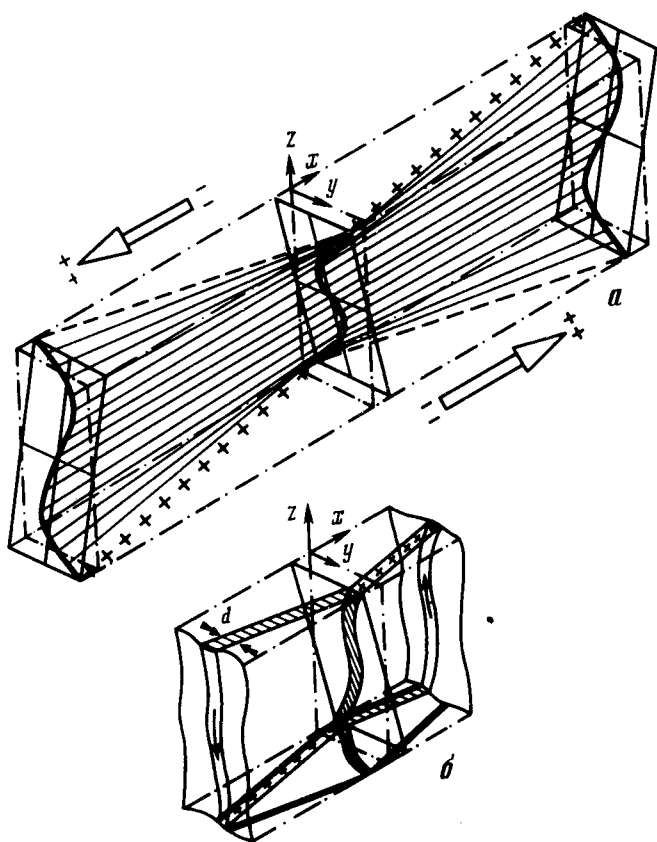


Рис. 1. *a* – Форма поверхности 180-градусной ДГ с БЛ; *б* – на нижней схеме показана проекция стенки на поверхность образца – плоскость ( $xy$ )

Развитие общей теории элементарных и нелинейных возбуждений в магнитоупорядоченном кристалле невозможно без анализа полного спектра спиновых волн, локализованных на БЛ. До сих пор, однако, эта важная задача не получила ни теоретического, ни эксперимен-

тального решения. В настоящем сообщении показана возможность прямого экспериментального изучения элементарных возбуждений в квазиодномерной системе спинов, образующих БЛ.

Исследовались пластинки (112) иттриевого феррограната толщиной 30 мкм, содержавшие домены 180-градусного соседства, намагниченные вдоль [111] параллельно поверхности образца. На рис. 1а схематически показан участок ДГ, включающий два субдомена, ограниченных блоховскими линиями (жирные кривые). Форма поверхности ДГ, параллельной (в среднем) плоскости  $xz$ , установлена на основе исследований магнитооптическим и порошковым методами<sup>7</sup>. БЛ были слегка искривлены и отклонялись от нормали к поверхности образца, что определялось влиянием на распределение спинов в ДГ магнитных полюсов, возникавших на поверхности пластины в местах выхода стенки.

При наблюдении ДГ в поляризованном свете вдоль оси  $z$  (совпадает с нормалью к пластине) субдомены, примыкающие к БЛ и выявляющиеся за счет эффекта Фарадея против — положительного знака, частично перекрываются на пути распространения света. Поэтому в поле зрения микроскопа при скрещенных николях на границе между двумя "светлыми" субдоменами видна "черная" полоса, ширина которой определяется степенью наклона БЛ в направлении оси  $x$ , а длина — наклоном ДГ. На рис. 1б, на котором дан фрагмент ДГ конечной толщины ( $d$ ) с одной БЛ, соответствующее магнитооптическое изображение на плоскости ( $xy$ ), ограничено жирной линией. Фотография такой БЛ в поляризованном свете показана на рис. 2а.

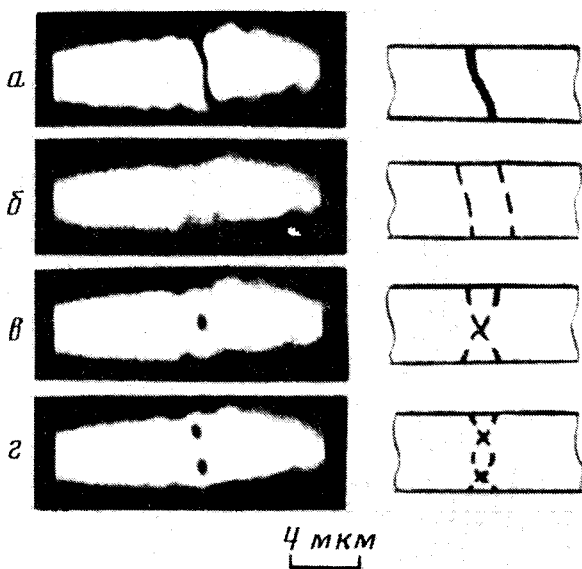


Рис. 2. Изображение участка ДГ с одной БЛ в поляризованном свете (николи скрещены) при  $H_z^0 = 0$  (а) и  $H_z^0 = 225$  мЭ,  $\nu_p = 0,45$  МГц (б), 1,12 (в) и 1,95 (г). На схемах показаны штрихами предельные амплитуды и форма колеблющихся БЛ

Для записи смещений БЛ вдоль ДГ николи микроскопа раскрещивались настолько, чтобы один из субдоменов полностью затемнялся<sup>3</sup>, а изображение края субдомена с БЛ (при необходимости только небольшого ее участка) ограничивалось прямоугольной диафрагмой, как показано на рис. 3, и проецировалось на ФЭУ. Сигнал с ФЭУ измерялся с помощью узкополосного анализатора спектра типа СК4-59.

На рис. 3 представлены зависимости магнитооптического сигнала ( $J$ ), пропорционального смещению БЛ вдоль оси  $x$ , от частоты ( $\nu$ ) синусоидального магнитного поля (созданного катушками Гельмгольца радиусом 6 мм), действовавшего вдоль  $z$ . Кривая 1, записанная при фотометрировании всей БЛ (см. схему над этой кривой), имеет один максимум, соответствующий резонансному смещению БЛ как целого<sup>3</sup>. На кривой 2, полученной в

условиях фотометрирования части БЛ (щель перекрывала половину ширины изображения ДГ), выявились дополнительные пики. Изображения БЛ в скрещенных николях при частотах  $\nu_p$ , соответствующих максимумам этих пиков, показаны на рис. 2б. 2.

Эти данные, дополненные анализом фаз колебаний магнитооптического сигнала от различных участков БЛ, показывают, что в описанном эксперименте выявились изгибные колебания БЛ вдоль оси  $x$ , а пики на кривых  $J(\nu)$  соответствуют возникновению стоячих волн на БЛ, форма которых при максимальных смещениях в проекции на плоскость ( $xy$ ) показана на схемах к рис. 2б, 2. На этих же частотах  $\nu_p$  были зафиксированы резонансы смещения этой БЛ и вдоль оси  $y$ . Они измерялись при скрещенных николях в условиях, когда щель перекрывала половину толщины изображения ДГ вблизи БЛ, и вместе с данными, представленными выше, показывают, что движение различных участков БЛ происходит по эллиптическим траекториям (см. верхнюю вставку на рис. 3).

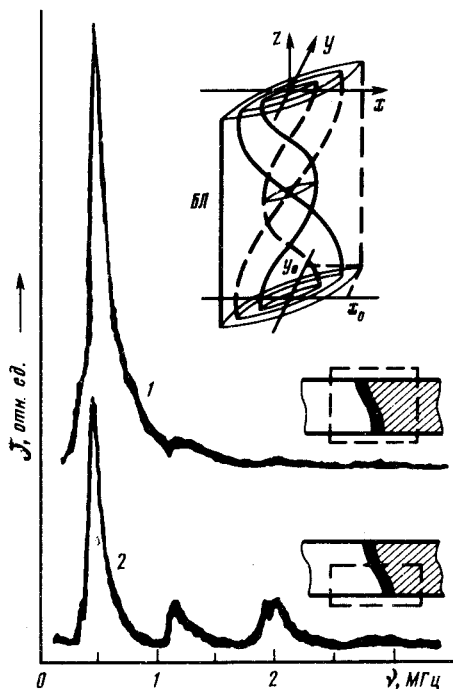


Рис. 3. Зависимость магнитооптического сигнала ( $J$ ), пропорционального смещению БЛ вдоль оси  $x$ , от частоты ( $\nu$ ) внешнего поля при фотометрировании всей БЛ (1) или ее части (2). На верхней вставке — траектории движения и форма БЛ. На вставках над кривыми 1 и 2 участки фотометрирования показаны прямоугольниками

Таким образом, обнаруженные элементарные возбуждения характеризуют специфические изгибные колебания магнитного вихря, при которых в каждый период происходят изгибы оси вихря последовательно по всем азимутальным углам. Развитый метод дает возможность непосредственно изучать закон дисперсии локализованных в БЛ спиновых волн, который может быть восстановлен по зависимости частоты резонансного пика от его порядкового номера. Из описанного эксперимента, в частности, следует, что магнетонный спектр БЛ простирается в область более низких частот, чем спектр элементарных возбуждений монополярной ДГ: частота первого пика на кривой  $J(\nu)$  рис. 3, которая определяет щель спектра спиновых волн в БЛ, меньше собственных частот трансляционных и изгибных колебаний монополярной стенки в исследованных кристаллах<sup>3, 8</sup>.

#### Литература

1. Ландау Л.Д. Собрание трудов. М.: Наука, 1969, с. 128.
2. Малоземов А., Слозуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
3. Горнаков В.С., Дедух Л.М., Никитенко В.И., Сыногач В.Т. ЖЭТФ, 1986, 90, 2090.

4. *Kleman M. Points, Lines and Walls in Liquid Crystals, Magnetic Systems and Various Ordered Media. New York: Wiley and Sons, 1983.*
5. *Воловик Г.Е., Минеев В.П. ЖЭТФ, 1977, 72, 2256.*
6. *Никифоров А.В., Сонин Э.Б. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 325.*
7. *Власко-Власов В.К., Дедух Л.М., Никитенко В.И. ЖЭТФ, 1976, 71, 2291.*
8. *Дедух Л.М., Никитенко В.И., Сыногач В.Т. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 386.*

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 мая 1988 г.