

## ЧАСТИЧНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОУДАРЯЮЩИХСЯ КЛАСТЕРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ БЛОХОВСКИХ ЛИНИЙ

*М.В.Четкин, И.В.Парыгина, Л.Л.Савченко*

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
119899Б Москва*

Поступила в редакцию 25 марта 1991 г.

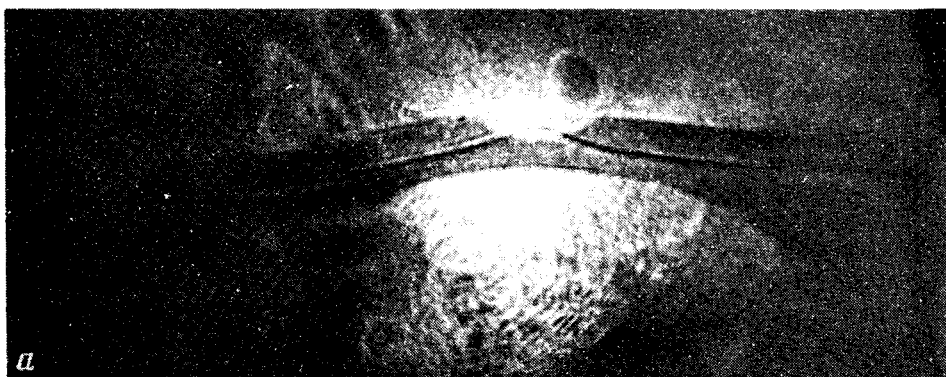
После переработки 11 апреля 1991 г.

Экспериментально показано, что при определенной скорости доменной границы в пленке феррита-граната возможно частичное восстановление кластеров вертикальных блоховских линий после их лобового столкновения в соответствии с предсказаниями численного эксперимента. Это делает описываемую ситуацию значительно более общей, чем в классической теории солитонов и в экспериментах по столкновению джозефсоновских вихрей. Сделана попытка определения топологического заряда кластера по зарегистрированному в эксперименте профилю уединенной волны прогиба доменной границы с помощью уравнений Слончевского.

Вертикальные блоховские линии (ВБЛ) разделяют участки доменных границ (ДГ) ферромагнетиков с противоположными направлениями вращения намагниченности и являются топологическими солитонами или кинками. В экспериментальных работах по столкновению кластеров ВБЛ в пленках ферритов-гранатов с перпендикулярной анизотропией было установлено два факта. При малых скоростях доменной границы, вдоль которой под действием гироскопических сил двигались кластеры ВБЛ с равными по величине и противоположными по знаку топологическими зарядами, происходила их полная аннигиляция. При больших скоростях ДГ имело место взаимопроникновение и полное восстановление двух одинаковых по модулю топологического заряда кластеров ВБЛ <sup>1</sup>. После лобового столкновения и взаимопроникновения оба кластера продолжали двигаться в тех же направлениях и с теми же самыми скоростями, что и до столкновения, т. е. было продемонстрировано солитоноподобное поведение кластеров ВБЛ. Недавно аналогичные эксперименты были осуществлены и со сталкивающимися кинком и антикинком в протяженной джозефсоновской линии <sup>2</sup>. При лобовом столкновении двух разных кластеров ВБЛ обнаружена их частичная аннигиляция, в результате чего на ДГ оставался только один кластер, движущийся в том же направлении, что и кластер с большим по модулю топологическим зарядом до столкновения <sup>3</sup>.

В работах Звездина и Попкова <sup>4</sup>, Четверикова и Котовой <sup>5</sup> методом численного эксперимента было предсказано, что при промежуточных скоростях ДГ, больших чем скорости полной аннигиляции и меньших, чем скорости полного восстановления сталкивающихся кластеров, должно иметь место частичное их восстановление. Экспериментальному подтверждению этого предсказания и посвящена данная работа. Для регистрации кластеров ВБЛ, движущихся вдоль ДГ в противоположных направлениях, использовалась специально разработанная методика трехкратной высокоскоростной фотографии, являющаяся развитием применявшейся ранее двухкратной высокоскоростной фотографии. В этой последней области, проходимая ДГ с движущимися вдоль нее кластерами ВБЛ, фиксировалась на фотопленке в виде темной полосы. По ширине этой полосы определялась скорость ДГ, а по расстоянию между уединенными волнами прогиба ДГ - скорости кластеров ВБЛ вдоль ДГ. В

$V_{\text{ДГ}}$   
↓



10 мм

Рис. 1. Трехкратные высокоскоростные фотографии уединенных волн прогиба на динамической доменной границе, сопровождающих кластеры ВБЛ. На фотографиях показаны три положения доменной границы: до столкновения кластеров ВБЛ (переход свет - темнота вверх); непосредственно перед *a* или сразу после столкновения *b* - темная полоска посередине; после столкновения с частичным восстановлением кластеров (переход темнота - свет вниз)

данной работе внутри интервала между двумя импульсами света динамическая ДГ с кластерами ВБЛ освещалась еще одним импульсом света, который давал изображение ДГ в фазовом контрасте в виде узкой темной полоски внутри полосы, проходимой ДГ за время между первым и последним импульсом света (см. рис. 1). Из расстояний между первыми и вторыми положениями кластеров ВБЛ можно было определить их скорости до столкновения, из расстояний между вторыми и третьими - скорости кластеров после столкновения. В левой части на рис. 1 показаны положения соударяющихся кластеров ВБЛ в различные моменты времени при скорости ДГ 17 м/с. Справа на том же рисунке показаны положения кластеров после соударения. Из этих зависимостей можно определить скорости кластеров ВБЛ до и после их соударения. До соударения скорости обоих сталкивающихся кластеров равны 30 м/с, после соударения - 45 м/с. Таким образом после соударения скорости кластеров увеличиваются в 1,5 раза. При этом наблюдалось уменьшение амплитуд волн прогиба ДГ, сопровождающих оба кластера, возникающих после соударения. Представленные на рис. 1 фотографии наглядно демонстрируют увеличение скоростей кластеров после столкновения и частичного восстановления. Уменьшение ам-

плитуд уединенных волн прогиба ДГ не столь заметны, поскольку оба зарегистрированы на фотографии перед столкновением очень близко друг к другу. При больших расстояниях между ними перед столкновением различие амплитуд уединенных волн прогиба ДГ сталкивающихся и частично восстановившихся кластеров ВБЛ более заметны. На рис. 2 виден фазовый сдвиг, возникающий в процессе соударения кластеров. Мы не наблюдали различия скоростей двух сталкивающихся кластеров, как это предсказывалось в численном эксперименте <sup>5</sup> из-за учета членов с первыми производными в уравнении Слончевского. Учет этих членов не бесспорен, но необходима и дальнейшая работа по увеличению точности эксперимента. Таким образом экспериментально наблюдается частичное восстановление или частичная аннигиляция сталкивающихся кластеров ВБЛ в доменной границе пленки феррита-граната с большой перпендикулярной анизотропией, предсказанное теоретически численным экспериментом <sup>4,5</sup>. При скоростях ДГ меньших 17 м/с наблюдается аннигиляция, при больших - полное восстановление кластеров ВБЛ. На фотографиях типа представленных на рис. 1 при средней скорости ДГ 17 м/с мы наблюдали также небольшое число кластеров, прошедших друг сквозь друга и полностью восстановившихся. На небольшом числе трехкратных фотографий видна также и аннигиляция сталкивающихся кластеров. Оба эти отмеченные факты являются по-видимому следствием узости интервала скоростей, в котором происходит частичное восстановление кластеров после столкновения и присутствием градиентного магнитного поля, стабилизирующего прямолинейную ДГ в пленке феррита-граната. Этот градиент немного изменяет магнитное поле, в котором движется ДГ, а следовательно и ее скорость. В результате этого и возможен выход ДГ из области частичного восстановления в области аннигиляции или полного восстановления.

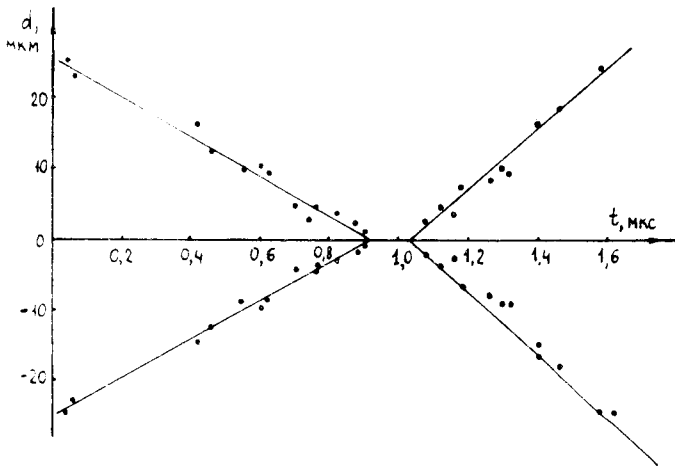


Рис. 2. Зависимость положений движущихся кластеров ВБЛ на доменной границе от времени до их столкновения (слева) и после частичного восстановления в результате столкновения (справа)

В связи с экспериментами по регистрации кластеров ВБЛ и их столкновений возникает задача определения их топологических зарядов. В экспериментах, описанных выше, непосредственно регистрируются лишь формы уединенных волн прогиба ДГ, сопровождающих движущиеся кластеры ВБЛ, их скорости и скорость ДГ. Пользуясь одним из уравнений Слончевского, связывающим производную по времени от азимутального угла намагниченности в центре ДГ с профилем уединенной волны прогиба ДГ, и его производными

$$-\frac{2M_s}{\gamma} \dot{\psi} = \frac{2M_s}{\mu} \dot{q} - \sigma \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + b^2 q \quad (1)$$

можно определить пространственное распределение  $\psi$  и величину топологического заряда кластера ВБЛ. Здесь  $\mu = \gamma\Delta/\alpha$  - подвижность ДГ,  $\gamma$  - гиромагнитное отношение,  $M_s$  - намагниченность насыщения,  $\sigma$  - плотность энергии ДГ,  $b^2 = \frac{\text{grad}H\Delta}{4\pi M_s}$ ,  $\Delta$  - ширина ДГ. Это можно сделать в случае, когда  $q$  и  $\psi$ , входящие в (1), зависят лишь от  $x-ut$ . Расчеты, проведенные в этих предположениях при  $4\pi M_s = 100$  Гс,  $\text{grad}H = 5000$  Э/см,  $A = 1,8 \cdot 10^{-7}$  эрг/см,  $Q = 45$ ,  $\alpha = 0,2$ ,  $\gamma = 1,7 \cdot 10^7$  Э $^{-1}$ . с $^{-1}$  дают топологический заряд близкий к  $(6 \pm 2)\pi$  для минимальных кластеров, наблюдаемых в наших экспериментах после частичного восстановления ВБЛ и  $(10 \pm 2)\pi$  до столкновения. Поскольку амплитуды уединенных волн прогиба ДГ, наблюдаемые на эксперименте, и их производные по координате на передних фронтах уединенных волн прогиба ДГ велики, представляется целесообразным использовать обобщение уравнения (1) с учетом кривизны доменной границы, полученное в работе <sup>6</sup>.

Таким образом эксперименты показывают, что при столкновении двух кластеров ВБЛ, одинаковых по амплитуде и имеющих разные по знаку топологические заряды в магнетике с диссипацией возможна их аннигиляция, полное и частичное восстановление. Это делает рассматриваемую ситуацию значительно более общей, чем в классической теории солитонов, в экспериментах по столкновению джозефсоновских вихрей и дает возможность осуществлять со сталкивающимися кластерами ВБЛ большое число различных алгебраических операций. Предложена методика для вычисления топологических зарядов кластеров ВБЛ из экспериментально определенных профилей уединенных волн, их сопровождающих, и уравнений Слончевского.

В заключение выражаем благодарность Звездину А.К., Попкову А.Ф. за полезное обсуждение результатов работы.

#### Литература

1. Chetkin M.V., Parygina I.V., Smirnov V.B. et al. Phys. Lett., A, 1989, 140, 428.
2. Nakajima K., Misusawa H., Sawada Y. et al. Phys. Rev. Lett., 1990, 65, 1667.
3. Четкин М.В., Парыгина И.В., Смирнов В.В., Гадецкий С.Н. ЖЭТФ, 1990, 97, 337.
4. Звездин А.К., Попков А.Ф., Ярема И.П. ЖЭТФ, 1990, 98, 1070.
5. Котова Е.Е., Четвериков В.Н. ЖЭТФ, 1990, 98, 2011.
6. Четкин М.В., Смирнов В.В., Гомонов С.В. и др. ЖЭТФ, 1988, 94, 164.