

СВЕРХПРЕДЕЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ОРТОФЕРРИТАХ

М. В. Четкин, А. И. Ахуткина, А. Н. Шалыгин

Получены рекордно высокие скорости доменной границы в ортоферрите иттрия, превышающие в три раза предельную скорость и достигающие $6 \cdot 10^6$ см/сек. Обнаружена нестационарность движения доменной границы со сверхпредельными скоростями, развивающаяся на расстоянии порядка 0,5 см.

Существование предельной скорости доменных границ в ферромагнетиках теоретически предсказано Уокером [1]. Ахизер и Боровик показали, что скорость волны поворота магнитных моментов в ферромагнетиках и легкоплоскостных антиферромагнетиках ограничена фазовой скоростью спиновых волн [2]. Вопрос о возможности достижения этой предельной скорости был поставлен в [3] и долгое время оставался дискуссионным. Предельная скорость доменных границ, обусловленная указанным выше механизмом, впервые была обнаружена в ортоферрите иттрия [4] и составила $2 \cdot 10^6$ см/сек в импульсных магнитных полях 700 — 900 э. В данной работе показано, что дальнейшее увеличение этого поля приводит к нарастанию скорости доменной границы до $6 \cdot 10^6$ см/сек, причем движение при скоростях выше предельной перестает быть ламинарным и становится неустойчивым. Исследования скорости движения одиночной прямолинейной доменной границы в оптически полированной пластинке $YFeO_3$, перпендикулярной оптической оси и имеющей размеры $6 \times 3 \times 0,07$ мм³ проводились по методике работ [4, 6]. Градиент постоянного магнитного поля, перпендикулярного образцу, составлял 1500 э/см и был направлен по оси *a* кристалла. Скорость доменной границы в зависимости от амплитуды импульсного магнитного поля $-v(H_u)$ представлена на рис. 1. Эта скорость получена из измерений разности времен пересечений движущейся границей двух световых пятен, находящихся на расстоянии 750 мкм друг от друга. Аналогичные результаты получены и при расстоянии между пятнами 330 мкм, что свидетельствует о равномерности движения границы на таких расстояниях. Минимальное время пробега границей расстояния в 750 мкм составило $12 \pm 0,5$ нсек. При H_u меньших 700 э результаты соответствуют данным работ [4 — 6]. В больших полях скорость увеличивается весьма резко до $3,8 \cdot 10^6$ см/сек, где наблюдается ее ограничение в интервале магнитных полей 950 — 990 э. Указанная особенность имеет место при скорости границы равной удвоенной максимальной скорости спиновых волн $v_{sw} = \gamma \sqrt{2H_E D}$ в ортоферрите иттрия [5, 6] и свидетельствует о сильной нелинейности исследуемого процесса. При дальнейшем увеличении импульсного поля скорость границы растет до $6,0 \cdot 10^6$ см/сек. Вся полученная экспериментальная кривая $v(H_u)$ лежит ниже прямой, соответствующей подвижности дан-

ного образца. Неубывающие во времени сигналы с ФЭУ-30 при помещении световых пятен в различные места образца при однонаправленном движении границы подтверждают, что образец остается двухдоменным. Таким образом, доменная граница в YFeO_3 движется со скоростью в три раза превышающей минимальную скорость спиновых волн. Этот результат выходит за рамки известных одномерных и требует поиска новых, возможно трехмерных решений. Из работ Слончевского [7] и Шлемана [8] следует, что после достижения предельной скорости, будь то уокеровский предел, или предел, обусловленный возникновением блоховских линий в движущейся границе, происходит уменьшение скорости движения границы с ростом магнитного поля. Из рис. 1 видно, что после достижения предельного значения скорость продолжает сильно расти. Возмущения типа магнитных солитонов, движущихся со скоростью выше предельных и являющихся четными функциями $\xi = (x - vt)$ [9, 10], не могут описать границу, описываемую нечетной функцией ξ .

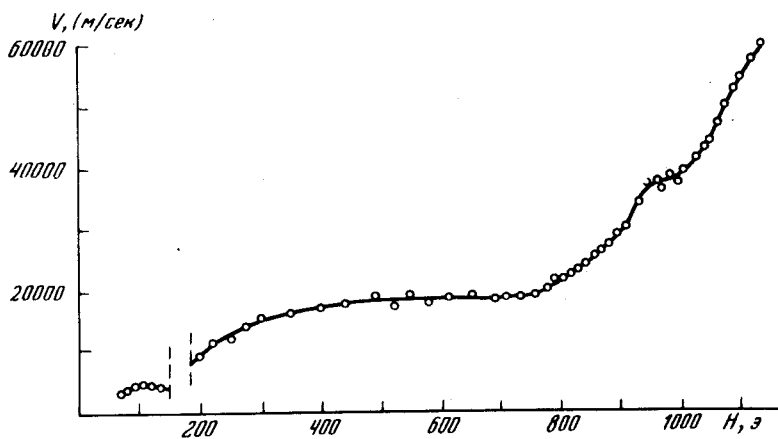


Рис. 1. Скорость движения одиночной доменной границы в пластинке YFeO_3 перпендикулярной оптической оси, в зависимости от амплитуды импульсного магнитного поля.

Нами были поставлены эксперименты с целью выяснения стационарности движения границы. Было найдено, что на расстоянии вплоть до 1,5 мм, которое равнялось внутреннему размеру катушки, создающей магнитное поле, нестабильности скорости не возникают во всем интервале импульсных полей. На заднем фронте световых импульсов, получающихся при пересечении границей светового пятна, была обнаружена существенная нестабильность, возникающая только в случае, если на первоначальном участке движения скорости были больше предельной. На рис. 2, а показана осциллограмма импульса тока ФЭУ, возникающего при прямом и обратном движении доменной границы, пересекающей световое пятно, сфокусированное внутри катушки, создающей импульсное поле для случая, когда в пределах катушки скорость была $1,8 \cdot 10^6$ см/сек, т.е. ниже предельной. На рис. 2, б приведен тот же

импульсу, когда в пределах катушки скорость составила $5 \cdot 10^6$ см/сек. В этом случае видна сильная нестабильность времени пробега границы до своего крайнего положения, определяемого как $1/2 \frac{H_u}{dH/dx}$

и назад. Аналогичные нестабильности проявлялись при всех скоростях больших предельной. Расстояние, на котором возникала нестабильность, составило по оценке около 0,5 см, откуда следует характерное время развития нестабильности $\sim 10^{-7}$ сек.

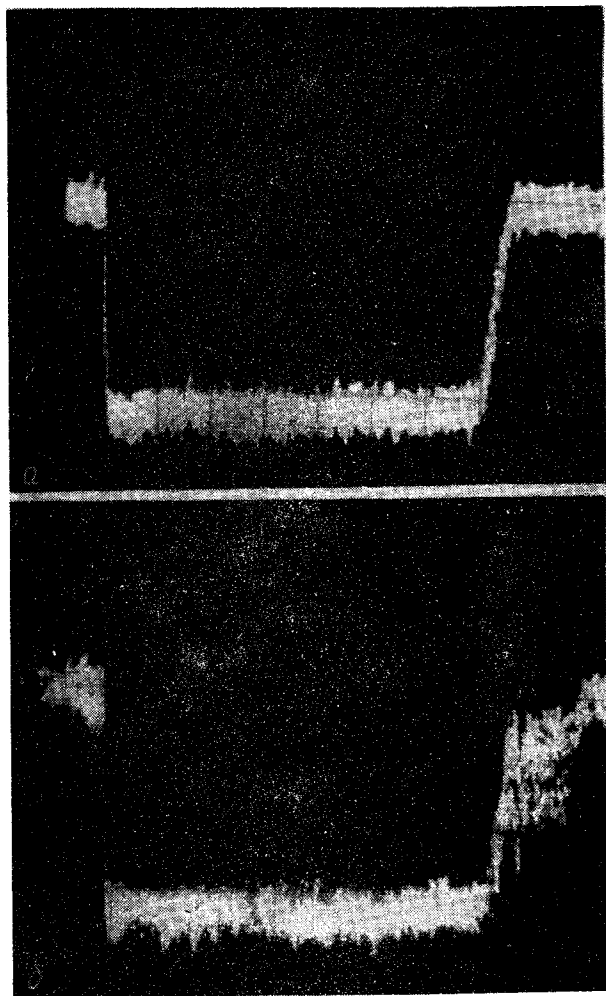


Рис. 2. Осциллограммы импульсов тока ФЭУ, возникающих при прямом и обратном движении доменной границы в образце $YFeO_3$, пересекающей световое пятно, находящееся внутри катушки, создающей импульсное поле. Скорость границы внутри катушки меньше предельной — *a*; больше предельной — *б*.

Таким образом, после перехода через предельную скорость, движение границы становится турбулентным, в силу чего и возникает наблюдаемая при больших пробегах неустойчивость движения границы. Решение задачи о движении доменной границы в этом случае должно быть трехмерным, как и при переходе предела ламинарного течения жидкости, когда возникает экспоненциальный рост скорости [11]. Неустойчивость скорости границы существует и при скоростях, немного больших скорости поперечных звуковых колебаний, что и было обнаружено в [12, 5]. Возможно, что в этом случае также имеет место возбуждение турбулентных магнитоупругих волн. При этом область неустойчивости весьма узка из-за малой константы магнитоупругой связи; характерный размер развития неустойчивости составляет 0,05 см, время ее установления 10^{-7} сек. Разброс времени пробега на рис. 2, б составляет 0,2 мксек, полная длительность всего импульса 2 мксек, длительность управляющего импульса 1,5 мксек. Таким образом, неустойчивость скорости доменной границы, развивающаяся на расстоянии порядка 0,5 см, была весьма большой; скорости на этих расстояниях отличаются не менее чем в два раза. Более точно неустойчивость движения доменной границы можно будет исследовать при диаметре катушки, создающей управляющее магнитное поле, большем, чем характерное расстояние установления неустойчивости.

В этом направлении представляют интерес низкотемпературные исследования, когда подвижность доменных границ ортоферритов, обусловленная четырехмагнонными процессами, сильно возрастает. Представляет интерес и постановка экспериментов по фотографированию доменных границ, движущихся с предельными скоростями с использованием пикосекундных лазеров.

Авторы приносят глубокую благодарность И. Е. Дзялошинскому за обсуждение результатов работы и ценные замечания.

Московский
государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
2 ноября 1978 г.

Литература

- [1] R.L.Walker в статье: I.F.Dillon, Magnetism, III, N.Y., 1963, стр. 451.
- [2] И. А. Ахизер, А. Е. Боровик. ЖЭТФ, 52, 1332, 1967.
- [3] U.Enz. Helv. Phys. Acta, 37, 245, 1964.
- [4] М. В. Четкин, А. Н. Шалыгин, А. де ла Кампа. ФТТ, 19, 3470, 1977.
- [5] М. В. Четкин, А. де ла Кампа. Письма в ЖЭТФ, 27, 168, 1978.
- [6] М. В. Четкин, А. Н. Шалыгин, А. де ла Кампа. ЖЭТФ, 75, 2346, 1978.
- [7] I.C.Slonczewski. Intern. J. Magnetism, 2, 85, 1972; J. Appl. Phys., 45, 2705, 1974.

[8] E. Schlömann. J. Appl. Phys., 47, 1142, 1976.

[9] В.М.Елеонский, Н.Н.Кирова, Н.Е.Кулагин: ЖЭТФ, 74, 1814, 1978.

[10] В.Г.Барьяхтар, Б.А.Иванов, А.Л.Сукстанский. ФТТ, 20, 2177, 1978.

[11] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Механика сплошных сред. М., 1954, стр.129.

[12] C.H. Tsang, R.C. White. AIP Confer. Proc., 29, 552, 1976.
