Письма в ЖТФ, том 20, вып. 11 12 июня 1994 г.

01;05.2

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ОКРЕСТНОСТИ ПОЛЯ КОЭРЦИТИВНОСТИ

С.И.Денисов

Согласно многочисленным экспериментальным данным средняя скорость $v(H)$ доменных границ (ДГ) линейно зависит от достаточно слабого внешнего магнитного поля H. Принято считать [1] (это согласуется с выводами теории динамического торможения ДГ [2]), что линейность функции $v(H)$ сохраняется вплоть до поля коэрцитивности $H = H_c$, в котором $v(H_c) = 0$. Однако в ряде экспериментальных работ (см., например, [3,4]) обнаружено, что вследствие взаимодействия ДГ с неоднородностями среды характер зависимости $v(H)$ в непосредственной близости H к H_c существенно меняется. Этот эффект, важный с точки зрения интерпретации экспериментальных данных по динамике ДГ, может быть описан с помощью уравнения движения ДГ

$$\dot{\zeta} = \mu \left[H + h(\zeta) \right], \tag{1}$$

в котором вследствие малости ее скорости при $H \approx H_c$ пренебрежено инерционным слагаемым. Здесь $\zeta = \zeta(t)$ — координата ДГ, μ — ее подвижность, $h(\zeta)$ — обусловленное пространственными флуктуациями параметров среды эффективное магнитное поле, действующее на ДГ.

В принципе статистические характеристики случайной функции $h(x)$ пространственной переменной x можно выразить через статистические характеристики флуктуаций параметров, воспользовавшись адиабатическим приближением теории возмущений для солитонов [5] (в этом приближении записано само уравнение (1)). Однако здесь, имея своей целью установление функциональной зависимости между внешним полем и средней скоростью ДГ в однородной и изотропной (по отношению к положению и направлению движения ДГ) в среднем среде, флуктуации параметров которой малы по сравнению с их средними значениями, будем предполагать, что необходимые для этого статистические характеристики $h(x)$ известны.

В рассматриваемом случае, отвечающем экспериментальной ситуации, случайная функция $h(x)$ удовлетворяет условиям стационарности и ограниченности ($|h(x)|sH_c$), и зависимость $v(H)$ полностью определяется плотностью вероятности $\omega(h)$ значений функции $h(x)$. Чтобы показать это, представим вероятность того, что случайная функция $h(x)$ принимает значения из интервала $(h, h+dh)$ как отношение суммарной длины dl отрезков пути ДГ, на которых $h < h(x) < h + dh$ к полному пути $l\,(l \to \infty)$:

$$\omega(h)dh = dl/l. \tag{2}$$

Отсюда следует, что отрезки пути, включаемые в dl, ДГ проходят за время

$$dT = l\frac{\omega(h)dh}{\mu(H+h)}. \tag{3}$$

Вычисляя далее полное время T, требуемое ДГ для прохождения расстояния l, и учитывая, что $v(H) = l/T$, получаем искомое выражение для средней скорости ДГ

$$v(H) = \mu\left[\int\limits_{-H_c}^{H_c}\frac{\omega(h)dh}{H+h}\right]^{-1}. \tag{4}$$

Интеграл в (4), относящийся к классу интегралов со слабой особенностью [6], при $H \to H_c$ может быть разложен в асимптотический ряд. Ограничиваясь главным членом разложения и принимая во внимание, что равномерное в среднем движение ДГ может совершать при $H > H_c$, находим в случае $\omega(-H_c) \neq 0$

$$v(H) = \frac{\mu}{\omega(-H_c)}\ln^{-1}\left(\frac{H_c}{H-H_c}\right) \qquad (H \to H_c). \tag{5}$$

Качественно такое же поведение средней скорости ДГ, характеризующееся резким изменением $v(H)$ в окрестности поля коэрцитивности, наблюдается на эксперименте [4].

Отметим в заключение, что асимптотический закон (5) может иметь место для любых локализованных образований, динамика которых описывается уравнением (1). Этот вывод подтверждается, в частности, экспериментальными данными [7], согласно которым средняя скорость вертикальных блоховских линий также характеризуется резким изменением в окрестности поля их коэрцитивности.

Список литературы

[1] *Малоземов А., Слонзуски Дж.* Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М., 1982. 384 с.

[2] *Зуев А.В.,Иванов Б.А.*// ЖЭТФ. 1982. Т. 82. В. 5. С. 1679–1686.

[3] *Аверкин А.Н.* // ФТТ. 1981. Т. 23. В. 6. С. 1573–1576.

[4] *Горнаков В.С., Никитенко В.И., Прудников И.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. В. 1. С. 44–47.

[5] *Карпман В.И., Маслов Е.М.* // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. В. 2. С. 537–559.

[6] *Федорюк М.В.* Асимптотика: Интегралы и ряды. М., 1987. 544 с.

[7] *Theile J., Engemann J.* // IEEE Trans. Magn. 1988. V. 24. N 2. P. 1781–1783.

Сумский государственный университет

Поступило в Редакцию 3 декабря 1993 г.